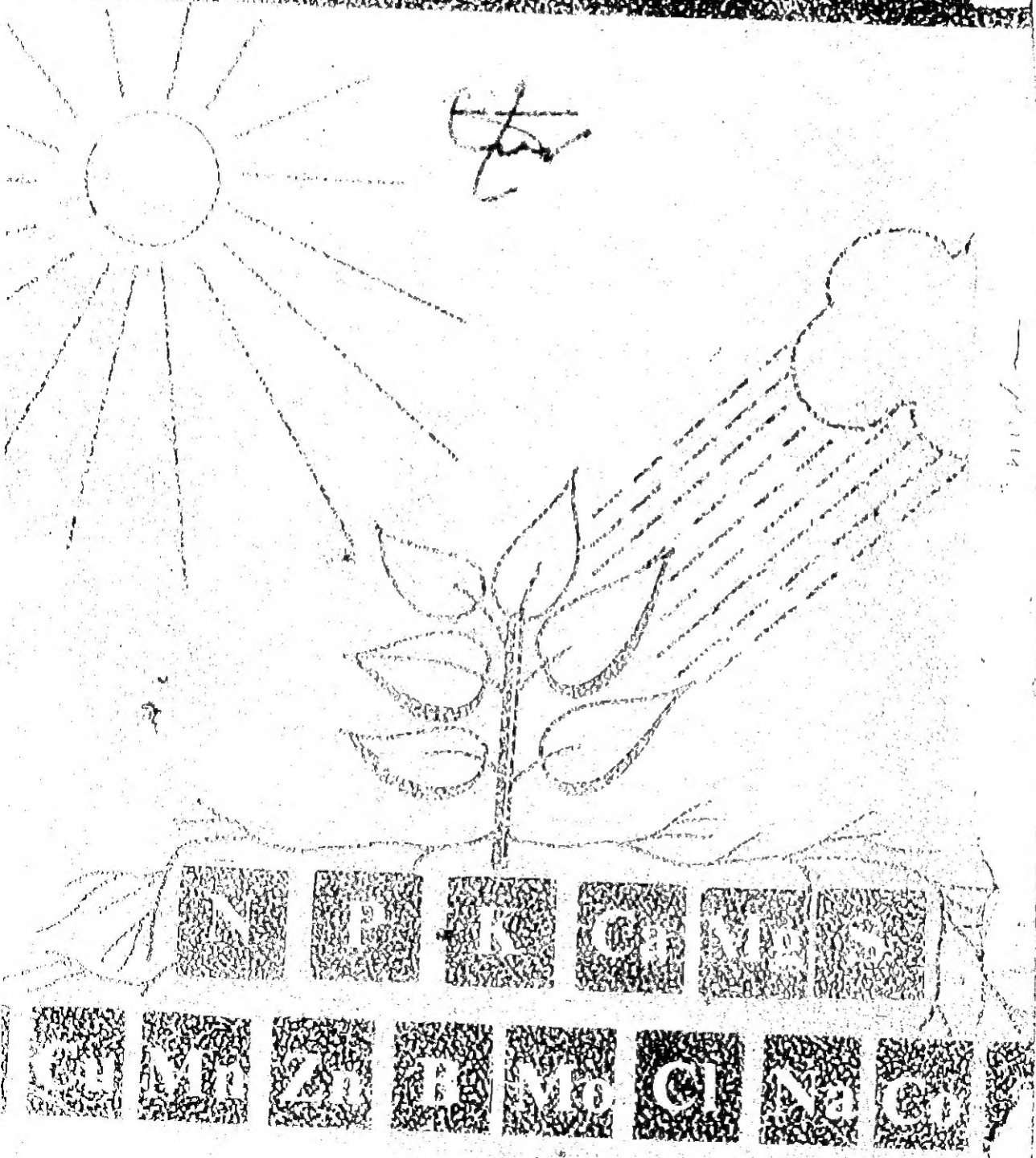


وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
مراجعة بغداد

دليل تغذية النبات

تأليف

الدكتور يوسف محمد أبو صافي الدكتور مؤيد أحمد البونس



Handwritten Arabic text at the bottom of the page. On the left, it says 'الكتاب من مكتبة جامعة القاهرة' (The book is from the library of Cairo University). On the right, it says 'مكتبة جامعة القاهرة' (Cairo University Library).

دليل تغذية النبات

المحتويات

رقم الصفحة

١٣	الفصل الاول : العناصر الغذائية للنبات
١٣	1.1 المقدمة
١٦	2.1 نبذة تاريخية
٢٤	3.1 تعريف وتقسيم
٢٦	4.1 الوظائف العامة
٣٠	5.1 التركيب الكيميائي غير العضوي (المعدني) للنبات
٣٠	1.5.1 الماء
٣٠	2.5.1 المادة الجافة
	3.5.1 العوامل التي يتوقف عليها التركيب الكيميائي غير
٣٧	العضوي للنبات
٤٣	الفصل الثاني : علاقة النبات بأوساط النمو المختلفة
٤٣	1.2 فكرة عامة
٤٥	2.2 التربة كوسط لنمو النبات
	3.2 العوامل التي تؤثر على جاهزية العناصر الغذائية في
٥١	التربة وامتصاصها من قبل النبات
٦٦	4.2 المحاليل المغذية
٧٧	5.2 أنواع المزارع الغذائية الاصطناعية
٨٠	6.2 الاغراض التي تستخدم فيها مزارع المحاليل المغذية
٨١	7.2 الجهد الازموزي لوسط نمو النبات
	8.2 انتشار المواد الذائبة وحركة الماء الى داخل وخارج
٨٦	الخلايا
٨٦	9.2 التناضح في خلايا النبات
٨٨	10.2 درجة تفاعل وسط النمو
٩٠	11.2 مقارنة بين محاليل التربة ومحاليل المزارع الغذائية
٩١	12.2 التأثيرات الفسيولوجية للجهد المائي
٩٦	13.2 الالوجه التطبيقية للجهد المائي
٩٩	1.13.2 الجهد المائي والري
٩٩	2.13.2 المواد المثبطة للنتح
١٠٠	3.31.2 معامل النتح

١٠٣	..... الفصل الثالث : الاسس التطبيقية في استخدامات الاسمدة
١٠٣	..... 1.3 دورات العناصر الغذائية في الطبيعة
١٠٣	..... 1.1.3 فكرة عامة
١٠٧	..... 2.1.3 اكتساب وفقدان التربة للعناصر الغذائية
١٠٨	..... 2.3 أنواع الاسمدة وموعد وطريقة اضافتها
١٠٨	..... 1.2.3 الاسمدة العضوية
١٠٩	..... 2.2.3 الاسمدة الكيماوية (المعدنية)
١١٠	..... 1.2.2.3 الاسمدة النتروجينية
١١٢	..... 2.2.2.3 الاسمدة الفوسفاتية
١١٤	..... 3.2.2.3 الاسمدة البوتاسية
١١٥	..... 4.2.2.3 الاسمدة المركبة
	3.3 المبادئ الاساسية في استخدام الاسمدة من الناحية
١١٧	..... التطبيقية
١٢٥	..... الفصل الرابع : التغذية المعدنية ونمو النبات
١٢٥	..... 1.4 مراحل النمو ومكونات الحاصل
١٢٥	..... 1.1.4 فكرة عامة
١٢٦	..... 2.1.4 النمو
١٢٨	..... 3.1.4 معدل النمو والتجهيز بالعناصر الغذائية
١٢٩	..... 1.3.1.4 محاصل الحبوب
١٣٠	..... 2.3.1.4 المحاصل الجذرية والدرنية
١٣٢	..... 3.3.1.4 محاصيل الثار
١٣٢	..... 4.3.1.4 محاصيل العلف الاخضر والخضروات الورقية وثيل
١٣٣	..... الحدائق
١٣٣	..... 2.4 التغذية واستجابة الحاصل
١٣٤	..... 3.4 العلاقات الكمية بين التغذية والحاصل
١٤٥	..... 4.4 التغذية المعدنية ونوعية الحاصل
١٤٥	..... 1.4.4 فكرة عامة
١٤٧	..... 2.4.4 المحاصيل الجذرية والدرنية
١٤٨	..... 3.4.4 محاصيل الحبوب
١٤٩	..... 4.4.4 المحاصيل الزيتية
١٥٠	..... 5.4.4 محاصيل العلف
١٥٠	..... 6.4.4 محاصيل الخضر واشجار الفاكهة المثمرة

١٥٣	..... الفصل الخامس : امتصاص وانتقال العناصر الغذائية
١٥٣	..... 1.5 فكرة عامة
١٥٤	..... 2.5 الفراغ الحر او الفراغ الخارجي
١٥٧	..... 3.5 الانتقال الحيوي والانتقال الحر
١٦٢	..... 4.5 الفرق بين الامتصاص السلي والامتصاص الحيوي
١٦٣	..... 5.5 النفاذية والاختيارية في امتصاص ونقل الايونات
١٦٦	..... 6.5 النظريات المختلفة المتعلقة بالامتصاص السلي (الحر)
١٦٦	..... 1.6.5 نظرية الانتشار
١٦٦	..... 2.6.5 الامتصاص التبادلي
١٦٦	..... 3.6.5 التبادل بالتاس
١٦٧	..... 4.6.5 دور غاز CO_2 في امتصاص الكاتيونات من التربة
١٦٨	..... 5.6.5 توازن دونان
١٦٩	..... 6.6.5 فرضية الجهد الكهربائي
١٧٢	..... 7.6.5 التدفق او الجريان الكتلي
١٧٢	..... 7.5 الامتصاص الحيوي (النشط او الفعال)
١٧٢	..... 1.7.5 فكرة عامة
١٧٣	..... 2.7.5 الدلائل المؤيدة لعملية الامتصاص الحيوي
١٧٦	..... 8.5 الطاقة وعلاقتها بالامتصاص الحيوي للايونات المعدنية
١٧٩	..... 9.5 الآراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بالامتصاص الحيوي للايونات المعدنية
١٧٩	..... 1.9.5 فرضية التنفس الملحي او الأنيوني
١٨٥	..... 2.9.5 فرضية فصل (انفصال) الشحنات
١٨٨	..... 3.9.5 الفرضية المتعلقة بتكوين الـ ATP
١٩٠	..... 4.9.5 فرضية دورة الفوسفاتيد
١٩٠	..... 5.9.5 فرضية الحامل او الناقل
١٩٣	..... 6.9.5 فرضية الضخ الايوني وانزيم الـ ATPase
١٩٩	..... 10.5 الطريقتان الميكانيكيتان للنقل الحيوي للايونات المعدنية
١٩٩	..... 1.10.5 فكرة عامة
٢٠٢	..... 2.10.5 مكان عمل الميكانيكيتين
٢٠٤	..... 11.5 انتقال الايونات المعدنية بالنسج الصاعد والنسج النازل
٢٠٥	..... 12.5 العلاقة بين معدل الامتصاص وتركيز الايون في المحلول المغذي

الفصل السادس : التغذية المعدنية ومقاومة النباتات او حساسيتها

٢٠٩	..... للاصابة بالامراض والآفات الضارة الاخرى
٢٠٩	..... 1.6 فكرة عامة
٢١٥	..... 2.6 دور التغذية الكاملة
٢١٧	..... 3.6 دور العناصر الغذائية الكبرى
٢٢٧	..... 4.6 دور العناصر الغذائية الصغرى
٢٣٣	..... 5.6 دور العناصر الاخرى

الفصل السابع : العناصر المعدنية غير العضوية

٢٣٥	..... 1.7 العناصر الغذائية الكبرى
٢٣٥	..... 1.1.7 النتروجين
٢٣٥	..... 2.1.7 الفسفور
٢٥٢	..... 3.1.7 البوتاسيوم
٢٦٢	..... 4.1.7 الكبريت
٢٧٣	..... 5.1.7 الكالسيوم
٢٨٧	..... 6.1.7 المغنيسيوم
٢٩٤	..... 2.7 العناصر الغذائية الصغرى
٢٩٨	..... 1.2.7 الحديد
٣٠١	..... 2.2.7 المنغنيز
٣٠٨	..... 3.2.7 الزنك
٣١٣	..... 4.2.7 البورون
٣١٨	..... 5.2.7 النحاس
٣٢٤	..... 6.2.7 المولبدنم
٣٢٧	..... 7.2.7 الكلور
٣٣٢	..... 3.7 العناصر النافعة او المفيدة
٣٣٥	..... 4.7 العناصر النادرة (الاثرية) الاخرى ذات التأثير السام
٣٤١	.....

الفصل الثامن : اعراض النقص والسمية بالعناصر الغذائية

٣٥٥	..... 1.8 فكرة عامة
٣٥٥	..... 2.8 الاساسيات والمبادئ العامة للتعرف على النقص او السمية بالعناصر المعدنية
٣٥٦	..... 3.8 التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية لنقص العناصر الغذائية
٣٥٨	.....

٣٥٩	4.8 اسباب ظهور أعراض نقص العناصر الغذائية
	5.8 العوامل المختلفة التي تؤدي الى صعوبة تشخيص النقص
٣٦٢	بالعناصر الغذائية
٣٦٧	الفصل التاسع: تأثير العوامل الوراثية والبيئية على تغذية النبات
٣٦٧	1.9 تأثير العوامل الوراثية على تغذية النبات
٣٧٠	2.9 تأثير العوامل البيئية على تغذية النبات
٣٧٠	1.2.9 الترب الكلسية وتأثير موقع النبات
٣٧٠	2.2.9 الملوحة في التربة وتغذية النبات
٣٧١	3.2.9 نقص العناصر في البيئات الطبيعية
	4.2.9 التأثير المتبادل بين النباتات وبيئتها بالنسبة للتغذية
٣٧١	المعدنية
٣٧٣	دليل المصطلحات
٣٨٣	المراجع
٤١٠	المراجع العامة

بسم الله الرحمن الرحيم

التقديم

ان القرار الحكيم الذي اتخذته قيادة الحزب والثورة بتعريب التعليم الجامعي دفع العديد من ابناء وطننا الغيارى الى ضرورة الاسهام في دعم هذا القرار القومي لانجاحه سواء في حركة الترجمة أو التأليف أو الاعداد وذلك لربط حاضر أمتنا المجيدة بماضيها التليد ففيها نشأت أولى الحضارات الانسانية ومنها انتقلت مختلف علوم الحياة الى شتى بقاع الارض .

إن تعريب التعليم الجامعي يعد بمثابة نافذة كبيرة مشرقة ومفتوحة يطل منها ابناء وطننا للوقوف جليا لرؤية آخر ماتوصل اليه العقل البشري في الدول المتقدمة من تطور في مختلف المجالات والاطلاع عليها عن كثب ونقل ما يلائمنا منها وبالتالي دعم للقرار السياسي وللمسيرة العلمية لأبناء العروبة بما يخدم الانسان ويطوره ويسهم في تنفيذ وقيادة المشاريع التنموية الجريئة والعلاقة في سائر الاقطار العربية . وقد ظهرت ثمار هذا القرار في عديد من الكتب المنهجية والمساعدة التي هي الآن في متناول اخواننا الاساتذة الافاضل وأبنائنا الطلبة الأعزاء في جامعات ومعاهد القطر . ويأتي كتاب « دليل تغذية النبات » ليضيف ثمرة أخرى الى ثمرات القرار ومساهمة فيما يبذل من جهود في تعريب علوم النبات .

ان اختيارنا لإعداد هذا الكتاب جاء حرصا منا لأهميته بالنسبة لطلبة الدراسات الأولية والدراسات العليا وكل العاملين في المجال الزراعي وخاصة لطلبة وقاية النبات والتربة والمحاصيل والبستنة وقد راعينا إدخال فصل جديد لم يسبقنا اليه أحد من قبل ألا وهو علاقة التغذية المعدنية في مقاومة النباتات للأمراض النباتية والآفات الزراعية الضارة الأخرى .

ولا يسعنا هنا الا ان نقدم جزيل شكرنا الى كل من ساهم في إخراج هذا الكتاب ونخص منهم بالذكر الدكتور عبدالعظيم كاظم محمد المقيم العلمي / كلية الزراعة / جامعة الموصل لما بذله من جهد واضح ومتميز ومن ملاحظات قيمة كان

لها اكبر الأثر في اخراج هذا الكتاب بصيغته الحالية . كما نعرب عن شكرنا
وامتناننا لجامعة الموصل وكافة الاخوة العاملين في مطبعة جامعة الموصل لما بذلوه من
جهود مضيئة ومشكورة في انجاز طباعة الكتاب .

ونرجو ان نكون قد وفقنا وان نكون قد أدينا ولو جزء يسير من واجبنا في
المساهمة في عملية تعريب التعليم الجامعي في القطر ، واننا على أتم الاستعداد لتقبل
اي اقتراح هادف وبناء أو أي انتقاد لغرض تطوير هذا الكتاب من قبل زملائنا
الاساتذة الافاضل والله الموفق .

المؤلفان ١٩٨٧



العناصر الغذائية للنبات



1.1 - المقدمة :

يختص علم تغذية النبات (Plant nutrition) بدراسة كل العمليات التي لها علاقة بكيفية حصول النبات على احتياجاته من العناصر الغذائية المختلفة وكيفية امتصاصها وتتبع دخولها من بيئة النبات (محلول التربة والجو) الى داخل الساييتوبلازم والفجوة العصارية Cell sap (العصير الخلوي) ودراسة الآراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بامتصاصها والعوامل المختلفة التي تؤثر على جاهزيتها في التربة وامتصاصها بواسطة جذور النبات وتشخيص أعراض نقصها أو السمية بها وكيفية علاجها وكذلك دراسة السمية بالعناصر الأثرية (elements Trace) أو النادرة . كما يهتم هذا العلم بدراسة الوظائف الفسلجية المختلفة للعناصر الغذائية وتوضيح دورها في حياة النبات .

كما يهدف علم تغذية النبات الى دراسة وتحسين طرق صناعة الاسمدة ودراسة اقتصاديات استعمالها وطريقة تخزينها وموعد وكيفية اضافتها .

كما تشير الدراسات الحديثة الى دور التغذية المعدنية في مقاومة النباتات للأمراض والحشرات .

كما تقدم تبين بوضوح العلاقة الوطيدة والارتباط الوثيق بين علم تغذية النبات والعلوم الأخرى والتي يأتي في مقدمتها علم التربة وعلم الكيمياء الحياتية وعلم فسلجة النبات .

تعتبر أهمية تغذية النبات فريدة في نوعها فهي ضرورية لأبقاء الحياة على سطح الكرة الأرضية وبالتالي فهي على علاقة وثيقة بحياة وشؤون الإنسان . كل

الاشياء الحية مكونة من ذرات العناصر المعدنية وتعتبر المعادن والصخور والمحيطات والهواء الجوي هي المخازن الاساسية والمصادر الاولى للعناصر المعدنية على الارض . فالصخور والمعادن تتحول الى تربة بعد تجويتها ، المحيطات والبحار تتكون عنها البحيرات والجداول والانهار والترب وحتى الغلاف الجوي نفسه . هذه المواد البسيطة (صلبة ، سائلة ، غازية) هي عبارة عن المواد الخام والتي تجعل العالم الحي مناجم للعناصر والتي تتحول بدورها نتيجة عملية التكوين الى النباتات الصغيرة والكبيرة مثل الرز واشجار الخشب الاحمر العملاقة والتي قد يصل ارتفاعها الى اكثر من (100) م وبالطريقة ذاتها تتحول هذه المواد البسيطة الى الحيوانات وكذلك الى الانسان .

ومع ذلك ليس كل الاشياء الحية تشارك او تساهم في المنجم الابتدائي للمواد الخام للحياة ، حيث ان النباتات الخضراء وبعض الاحياء المجهرية الدقيقة قادرة فقط على استخلاص مركبات بسيطة غير عضوية وايونات من البيئة المحيطة وعذم حاجتها للاعتداد على غيرها لصنع مركبات معقدة غنية بالطاقة والتي يجب ان تصنع او تمثل بواسطة كائنات حية اخرى . مثل هذه الكائنات المعتمدة على نفسها (Self-sufficient organisms) تسمى بذاتية التغذية (Autotrophic) على عكس غير ذاتية التغذية (Heterotrophic) والتي لاتمكن من صنع غذائها بنفسها بل تعتمد على مواد عضوية جاهزة سبق تصنيعها بواسطة الاحياء ذاتية التغذية .

تعتبر النباتات الخضراء على اليابسة والنباتات والطحالب التي تعيش في المحيطات والبحار والبحيرات والانهار والتي تقوم بعملية التمثيل او التركيب الضوئي هي اهم الكائنات في عالمنا الحي والتي تقوم بالتحصيل الاولي للطاقة والعناصر الكيمياوية من المحيط الخارجي اي اكتساب وتحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كيمياوية تستغلها هذه الكائنات لتأدية وظائفها الحيوية المختلفة .

نتيجة لنشاط هذه النباتات فإن الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والكالسيوم والمغنيسيوم وغيرها من العناصر الغذائية الاساسية الضرورية لحياتها تستخلص في البداية من المحيط غير العضوي ثم تدخل في بناء الخلايا والانسجة .

بعد هذا التحصيل المبدئي للمغذيات والطاقة الثابتة فإن العناصر الغذائية يجب ان تجد طريقها الى خلايا الكائنات المستهلكة والمحللة وأكلي الاعشاب ومن آكلي الاعشاب الى آكلي اللحوم ثم بواسطة الكائنات المحللة ترجع مرة اخرى الى المخازن غير الحية للمواد غير العضوية كما يتضح ذلك من الشكل (١ - ١) .

والخلاصة ان العالم الحي كله يعتمد على النباتات القائمة بالتركيب الضوئي وعلى قدرتها في تحويل أو توجيه حركة المواد غير العضوية عند الحدود الفاصلة مابين خلاياها والمحيط الخارجي والتي هي في تماس دائم ومستمر معه .

ويظهر في الشكل أن عودة غاز ثاني اوكسيد الكربون الى الغلاف الجوي (Atmosphere) المنطلق من تنفس الكائنات الحية أو المنطلق نتيجة الاحتراق للمادة العضوية من المصانع أو البيوت غير موضحة . كما ان غاز الاوكسجين المتحرر نتيجة عملية التركيب الضوئي أو المأخوذ في عملية التنفس للكائنات الحية غير مشار له في هذا الشكل .

2.1 - نبذة تاريخية :

أهتم الانسان منذ الأزل بمحاولة حل مشاكل الزراعة والنهوض والتقدم بالفن الزراعي لكي يغطي احتياجاته من غذاء وكساء . وقد قامت حضارات عريقة مثل حضارة وادي الرافدين وحضارة وادي النيل والحضارة الاغريقية والحضارة الرومانية وفي الهند الصينية . ولقد تم الحصول نتيجة ممارسة العمل الزراعي على الكثير من المعلومات عن طريق المشاهدة والخبرة العملية فكان لسكان هذه المناطق المهارة الكافية في استخدام الاسمدة واتباع الدورات الزراعية والأخذ بمبادئ الري ويعتبر ذلك من العوامل التي تؤدي في مجموعها الى المحافظة على خصوبة التربة . ففي وادي الرافدين نشأت أولى الحضارات الانسانية وأقيمت في بابل الحدائق المعلقة وهي إحدى عجائب الدنيا السبع ولا يزال متبعا حتى الآن في مناطق زراعة الرز في المشخاب طريقة زراعة التطيباب والمعروفة لدينا الآن بالطريقة المبتلة حيث تعمل حواجز قوية عند الفيضان لحسر المياه فيترسب ماها من طين أي تكون مصدراً غنياً بالمواد المغذية لنبات الرز وهذه هي نفس الطريقة المتبعة والتي ابتدعها الفراعنة لصيانة خصوبة التربة والمعروفة حتى الآن في جمهورية مصر العربية بطريقة ري الحياض وكذلك استعملوا السماد العضوي . وفي الهند استعملوا منذ الازمان الغابرة الاسمدة الحيوانية . كما استعمل الصينيون واليابانيون مخلفات الانسان كسماد .

لقد تأخر تقدم وتطور علم تغذية النبات بسبب الاعتقادات العامة التي كانت سائدة في ذلك الوقت والتي كانت تلاقي قبولا لدى الكثير منهم وخاصة تلك التي

طرح من قبل الفيلسوف الطبيعي اليوناني أرسطو (384-322 B.G) Aristotle والذي تبني رأيا مفاده أن المادة مكونة من أربعة عناصر هي التربة ، الماء ، الهواء ، والغاز .

إن آراء أرسطو، ظلت سائدة الى أكثر من ألفي سنة أي حتى بداية القرن السادس عشر والذي يعتبر بداية العلم التجريبي الحديث .

إن شرف ارساء فكرة اجراء التحاليل والتجارب الكمية في علم تغذية النبات ترجع الى العالم الفيزيائي البلجيكي فان هلمونت J.B.Van Helmont (1577-1644) وفي تجربة من تجاربه الشهيرة اعتقد ان الماء هو مصدر مادة النبات . فقد وصف Gabriel and Fogel (1955) هذه التجربة كما يلي : ان كل مادة النبات تنشأ فقط من عنصر الماء فقد وضع 200 رطل من التربة المجففة في الفرن ثم شربها بالماء ووضعها في وعاء من الحديد وزرع فيها شتلة لنبات الصفصاف Willow زنتها خمسة أرطال وكان يسقي الشتلة بماء المطر وأحيانا حتى بالماء المقطر اذا ماكان ذلك ضروريا . وبعد مرور خمس سنوات وجد ان وزن الشتلة اصبح 169 رطلا وثلاث أونصات بالرغم من اهمال وزن الاوراق المتساقطة في المواسم السابقة. ولمنع اختلاط غبار الهواء الجوي بتربة الوعاء فقد غطي الوعاء بغطاء حديدي به عدة ثقب لآتاحة الفرصة لأمكانية تبادل الغازات للنبات . وفي النهاية جفف تربة الوعاء في الفرن مرة اخرى ولقد وجد أن وزن التربة ظل ثابتا تقريبا حيث نقص فقط بمقدار اونسين ومن هنا بنى استنتاجه على ان الماء هو المصدر الوحيد الذي يبني منه النبات مادته الجافة .

وأجرى Leonardo da Vinci (1452-1519) تجربة مشابهة ولكنها لم تنشر. ووجدت مدونة في ملاحظاته اليومية ، كما اشار الى ذلك Bodenheimer (1958) . كما اشار Russell (1961) بأن Robert Boyle (1627-1691) قد قام بأجراء تجارب مشابهة وتوصل الى نفس النتائج .

إن اهمية المادة المعدنية لنمو النبات قد أشار اليها الطبيب الانكليزي John Woodward (1665-1728) عندما ذكر ان معظم الماء الذي يمتصه النبات يرجع مرة اخرى الى الهواء الجوي الا أن أهمية الماء للنبات لا ترجع الى الماء بمحد ذاتها بقدر ما موجود به من مادة التربة والتي تدخل مع الماء فقد قام

بتنمية نبات النعناع Spearmint في اربعة اوعية في الاناء الاول ماء مقطر وفي الوعاء الثاني ماء من نهر التايمز وفي الاناء الثالث ماء بركة من حديقة هايد بارك وفي الاناء الرابع نفس ماء بركة الهايدبارك بعد خلطه بكمية من التربة الزراعية ووجد هذا العالم أن نبات النعناع قد نما بدرجة متزايدة مع ترتيب الاوعية السابقة أي من (1) الى (4) اي كلما زادت كمية التربة المختلطة مع الماء وهذا فقد استنتج أن التربة وليس الماء هو مصدر مادة النبات الجافة .

وأوضح هذا العالم ان نقص حاصل النباتات التي تزرع في نفس التربة سنة بعد اخرى يرجع الى استهلاك مادة التربة ونصح بضرورة تبوير التربة (نيرونيير) حتى تجدد مادتها والتي حسب اعتقاده تجلب مع ماء المطر .

اما Stephen Hales (1677-1761) فهو قس أنجليزي ويعتبر بحق رائد علم فلسفة النبات . فقد اصدر عام 1727 كتابا تضمن الكثير من الامور والنقاط الهامة كتحليل العصارة النباتية للخضروات وتقييم نتائجها احصائيا ، وقام بتحليل الهواء وعمل تقديرات كمية للماء المتص والمفقود بعملية النتح ، وقاس مساحة الجذر المسؤول عن عملية الامتصاص وكذلك قياس مساحة الورقة القائمة بعملية النتح وقياس معدل سرعة امتصاص الماء في وحدة المساحة لكل من الجذور والاوراق . كما قام بأجراء عدة تجارب للضغط الجذري وكيفية قياسه . ولهذا لقب برائد علم فلسفة النبات وتقديرا لجهود هذا العالم العظيم واعترافا بفضلته في هذا المجال فإن الجمعية الامريكية لفلسفة النبات تمنح سنويا جائزة تحمل اسم هذا العالم الكبير .

ومن اهم انجازاته هو اشارته الواضحة الى أهمية الهواء الجوي في بناء مادة النبات عندما ذكر أن الهواء الجوي يشارك في بناء مادة النبات الا أن طبيعة هذه المشاركة ظلت مجهولة بسبب عدم المعرفة الحقيقية بمكونات الهواء وكذلك عن طبيعة نواتج الاحتراق .

غير ان هليز كان يعتقد كغيره بنظرية الفلوجستون Phlogiston والتي تنص على ان جميع المواد المحترقة مكونة من مركبات من الفلوجستون وهذه تتلاشى بعملية الحرق وقد ظلت تلك الآراء سائدة حتى نهاية القرن الثامن عشر .

أما J.Priestley (1733-1804) فقد اكتشف الاوكسجين بتسخينه لأكسيد الزئبق وبالرغم من ذلك فقد ظل طيلة حياته مواليا لنظرية الفلوجستون . وبالرغم من الصعوبات الكثيرة التي كان يواجهها لارتباط أعماله بنظرية كيميائية خاطئة في أساسها وهي نظرية الفلوجستون فإن له أعمالاً قيمة في علم الكيمياء وعلم فلسفة النبات عندما ذكر ان الغاز الذي يخرج من النباتات الخضراء يشبه الغاز الناتج عن حرق اوكسيد الزئبق وبذلك فانه وضع الخطوة الاولى لمعرفة الاساس العلمي لعملية التركيب الضوئي .

وبالنسبة Jan Ingen-Housz (1730-1799) الفيزيائي الالماني فقد قضى معظم حياته في إنجلترا وقد أعاد تجارب بريستلي ومن أهم اكتشافاته هو أشارته الواضحة الى أهمية الضوء للنبات ليتمكن من اخراج غاز الاوكسجين الا انه وكذلك بريستلي لم يشارا الى دور غاز ثاني اوكسيد الكربون في عملية التركيب الضوئي .

كما ان Jean Senebier (1742-1809) (وهو قس وامين مكتبة وعالم في نفس الوقت) فقد أوضح ان كمية الاوكسجين الناتجة من عملية التركيب الضوئي تتناسب طرديا مع كمية غاز CO_2 المستهلكة من قبل النبات . بالطبع هو لم يستخدم تعبير O_2 و CO_2 حيث كانت تسود فكرة نظرية الفلوجستون حيث افترض كسابقيه ان الضوء يختلط مع بعض المواد في الورقة الخضراء فيحدث تحلل للهواء المثبت (يقصد تحلل CO_2 الى $dephlogisticated\ air$ يقصد به الان O_2) . وبالرغم من ان هذه الاراء تحمل في طياتها الكثير من الافكار والأبعاد الصحيحة لعملية التركيب الضوئي الا انها لم تفسر في حينها كذلك . وهذا يرجع الى سيادة نظرية الفلوجستون واعتقاد علماء الكيمياء وفلسفة النبات بها ، وعلى اية حال فإن هذه النظرية لم تدم طويلا وانتهت مع نهاية القرن الثامن عشر والذي تميز بثورة عارمة من الافكار ليس فقط في شؤون الدولة أو المجتمع ولكن في كل مجالات العلوم والمعرفة ايضا .

تتميز هذه الفترة بظهور علماء الكيمياء البحتة امثال العالم الفرنسي لافوازييه Antoine L.Lavoisier (1743-1794) وهو يعتبر بحق رائد علم الكيمياء الحديث وتعود اليه المقولة المشهورة « المادة لا تفنى ولا تستحدث » . وان دوره في تطور علمي السلجة والكيمياء الحياتية لا يقل اهمية عن دوره في علم الكيمياء البحتة .

ثم جاء العالم الفرنسي (Theodore de Saussure) (1767-1845) والذي يعتبر اول من حاول تطبيق اراء لافوازيه في الكيمياء في بحوث علم تغذية النبات كما يعتبر من رواد عصره والذي اتبع طرق التقديرات الكمية وقام بنشر العديد من البحوث الحاوية على التركيب المعدني لرماد العينات النباتية ويعتبر اول من اكتشف الاختيارية في الامتصاص حيث نمى نبات اصبع الست (Polygonum persicaria, Lady's thumb) في محاليل مغذية محتوية على عنصر واحد او خليط من العناصر ولاحظ وجود اختلافات في كميات العناصر الممتصة ، كما يعتبر رائد طرح فكرة العناصر الضرورية للنباتات حيث ان بعضها غير ضروري . كما أشار الى أهمية العناصر المعدنية المأخوذة من التربة والتي ظلت لعشرات السنين مدار جدال ، كما بين أهمية غاز CO_2 للنبات خاصة في وجود اشعة الشمس .

ثم جاء العالمان الالمانيان Carl S. Sprengel (1789-1859) و A.F. (1771-1853) حيث ايدا دى سوسير في ارائه وذلك فيما يخص أهمية العناصر المعدنية المأخوذة من التربة للنبات . فقد وجد Sprengel ان هناك ارتباطاً بين نمو النبات والعناصر الممتصة من التربة وقد ذكر ان التربة قد تبدوا لنا بصورة جيدة ومن جميع الوجوه ومع ذلك فقد تكون غير منتجة بسبب غياب أو قص عنصر غذائي فيها . وهذه اشارة واضحة الى قانون العامل المحدد 'Law of Limiting factor' ثم جاء العالم Jean-Baptiste Boussingault (1802-1887) الذي يعتبر واضح الاساس لعلم الزراعة وقام بدراسات عديدة في موضوع تغذية النبات والعلاقة بين التربة والنبات وأشار الى أهمية وجود العناصر بصورة متوازنة وقام بدراسة تأثير كل من السماد والتربة على توازن العناصر كما قام بحساب الكمية المأخوذة من العناصر من التربة لكل هكتار .

وقد قام بنشر عدة بحوث حول تأثير العنصر او العناصر الغذائية على حاصل ونوعية الكثير من المحاصيل الزراعية . ويعتبر هذا العالم اول من اشار الى قيام النباتات البقولية بتثبيت النتروجين الجوي عندما ذكر ان البرسيم الاحمر والبزاليا عندما يزرعان في تربة خالية او معدومة من النتروجين الجاهز (available) فانها علاوة على اكتسابها على (C, H, O) فانها ايضا تكتسب الـ (N) في حين ان الشعير والشوفان المزروعان تحت نفس الظروف يفشلان في ذلك ولكنه مع ذلك لم يفسر كيفية حدوث هذه العملية .

ثم جاء العالم الالماني ليبيك Justus Von Liebig (1803-1873) وهو كيميائي ويعتبر اشهر علماء عصره على الاطلاق . في عام 1840 دعت الجمعية البريطانية لتقدم العلوم لالقاء محاضرات عما تمخض عنه اصدار كتاب تحت عنوان : «الكيمياء العضوية واستخداماتها في الزراعة وفلسفة النبات» "Organic chemistry in its application to agriculture and physiology"

يعتبر ليبيك الرائد الاول الذي استخدم مبادئ الكيمياء العضوية على نمو الخضراوات واثبت ان الهواء هو مصدر الكاربون للنبات ، وبين ان النبات يأخذ الاوكسجين والهيدروجين من الماء ، وأشار الى دور القواعد لمعادلة الاحماض المتكونة داخل النباتات ، وتنبأ بإنشاء مصانع للاسمدة الكيماوية وكان اول من استعمل الاسمدة الفوسفاتية في التسميد وحضرها بنفسه من مسحوق العظام وقام بتطوير محلول غذائي اصطناعي واطلق عليه "Liebig Patent manure" واليه يعود الفضل في وضع قانون العامل المحدد "The Law of minimum" كما وضع النظرية المعدنية "Mineral theory of Fertilizers" والتي تشير الى أهمية العناصر المعدنية لنمو النبات وبذلك الغيت فكرة النظرية الدبالية (Humus theory) والتي تعود الى العالم Thaer (1812) والتي كان يفهم منها ان الدبال هو المصدر الوحيد لمادة النبات اما المادة المعدنية فهي فقط لتسهيل المحلل المادة العضوية دون ان تدخل هذه المواد المعدنية في تكوين جسم النبات على حد تعبيره وحسب اعتقاده . وبالرغم من الآراء القيمة والانجازات الكبيرة لهذا العالم فإن الكثير منها قد فسرت بطريقة خاطئة في حينها ومن الامثلة على ذلك مايلي :

(1) هاجم آراء بوسنجل حول قدرة النباتات البقولية على تثبيت النتروجين الجوي .

(2) اعترض على ان النبات لديه القدرة الاختيارية في امتصاص العناصر وافترض ان كل العناصر تمتص بنفس الطريقة او بنفس الكيفية وشبه ذلك كما لو نغمس قطعة من الاسفنج في وعاء به محلول ملحي فتمتص محتويات المحلول بدون تمييز .

(3) وقع في الخطأ عندما أشار ان دور السموم في النبات يكون متشابه ويمكن ان يحل كل منها مكان الآخر .

(4) وقع في الخطأ عندما ذكر ان كل العناصر الموجودة في رماد العينة النباتية تعتبر ضرورية للنبات .

(5) اخطأ عندما ذكر ان النبات يمكنه ان يمتص الامونيوم من الهواء الجوي .

غير انه بعد صدور كتابه انعكف ليبيك ومعاونوه وطلابه لاجراء البحوث والتبديرات الكمية لمعرفة تركيب الكثير من مكونات المادة النباتية وبذلك

استطاع ليبك ان يصحح الكثير من آرائه الخاطئة والتي طرحت في حينها والموجودة في طبعته الاولى. كما ادخل الكثير من التحسينات والتعديلات على طرق التحاليل التي كانت سائدة وبذلك فقد حصل على نتائج صحيحة وقيمة فيما يخص التركيب الكيماوي المعدني للنبات .

بعد صدور كتاب ليبك استمرت الدراسات والبحوث لعشرات السنين لمعرفة دور النتروجين الجوي في تغذية النبات وتوصل الكثير من الباحثين الى معرفة دور النباتات البقولية في تثبيت النتروجين الجوي الا ان الآراء بهذا الشأن ظلت متضاربة الى ان جاء العالمان الالمانيان (Hillriegel and Wilfarth) اللذان اعلنا في عام 1886 اكتشافهما لدور البكتريا في العقد الجذرية للنباتات البقولية والتي كانت قد اكتشفت من قبل العالم التشريحي الروسي Woronin دون ان يوضح او ان يتوصل الى أهميتها .

ولقد قام العالمان الالمانيان هاريكل وولفارت بتنمية نبات البازاليا في تربة معقمة للمقارنة فوجدا ان النبات المزروع في التربة المعقمة لم تكون عقد بكتيرية على جذوره كما توقفت النباتات عن النمو في حين تكونت عقد بكتيرية على جذور النبات المزروع في التربة غير المعقمة . وأشارت النتائج الى تثبيت النتروجين الجوي ونوها الى ضرورة تلقيح النباتات البقولية بالبكتريا التكافلية كما لاحظا ان النباتات غير البقولية غير قادرة على تثبيت النتروجين الجوي وتعتمد في ذلك على ما موجود من النتروجين فعلا في التربة او ما يضاف اليها من الاسمدة النتروجينية .

ثم بين بعد ذلك العالمان Kuber and Vertanin (1953) ان العقدة البكتيرية تحتوي على مادة تشبه هيموكلوبين الدم واخيرا استطاع العالم Wilson (1957) من توضيح كيفية حدوث عملية تثبيت النتروجين الجوي . وفي عام 1860 قام العالم التشريحي الالماني Julius Von Sachs بتحضير محاليل مغذية محتوية على العناصر الغذائية الكبرى والصغرى واستطاع ان ينمي فيها النباتات حتى مرحلة النضج . وكذلك تمكن Knop (1865) من تحضير محلول غذائي آخر . ومنذ ذلك الوقت انتشرت فكرة تنمية النباتات في المحاليل المغذية في علم تغذية النبات واصبحت طريقة مفضلة لدى الكثيرين .

لقد بدأ العاملون في مجالي تغذية النبات وخصوبة التربة في منتصف القرن التاسع عشر يتطلعون الى ايجاد طرق سهلة وسريعة تمكنهم من تقدير درجات خصوبة التربة وحاجتها للتسميد بالعناصر المختلفة كما درست عمليات تبادل القواعد على الاسطح الفعالة لغرويات التربة امثال Way (1850) .

وعرف كميات العناصر الجاهزة available عن طريق الاستخلاص بالمحاليل الكيماوية المختلفة والتي منها محلول Konig (1930) و Morgan (1935) وغيرها وهناك على سبيل المثال لتقدير الفسفور تسع طرق وعلاوة على الطريقتين السابقتين تعتبر ايضا طرق Bray 1, Bray 2, Wilson المعدلة من الطرق المهمة لتقدير هذا العنصر .

ثم اخذ النبات في الاعتبار لتقدير خصوبة التربة والتي منها طريقة نويباور Neubauer (1933) وطريقة متشرلش Mitscherlich (1935) وذلك لمعرفة حاجة التربة من عنصري الفسفور والبوتاسيوم وهذه الطريقة تعرف باختبارات التربة (Soil tests) . ثم درست احياء التربة لتقدير حاجتها للسماذ باستخدام البكتريا او الفطر مثل بكتريا الازوتوباكتر (Azotobacter) المثبتة للنيتروجين الجوي وهذه الطريقة تعرف بالطريقة الحيوية . ثم اقترح اخذ نقص العناصر الغذائية على النباتات النامية كدالة لحاجة الترب للتسميد ومن رواد هذه المدرسة Maum 1930 ، Thomas 1945 ، Hoffman 1941 اما Arnon و Hoagland عام 1950 فقد طورا محلولاً غذائياً لدراسة تأثير نقص العناصر على نمو النباتات .

وفي عام 1954 اقترح Lundegardh فرضية التنفس الملحي او التنفس الانايوني Salt or Anion respiration ثم اقترح العالمان Bennet and clark عام 1956 فرضية دورة الفوسفاتيد Phosphatide cycle وفي عام 1966 اقترح العالمان Briggs and Robertson نظام الامتصاص الحر او السلبي passive absorption وقد أيدها في ذلك العالم Kramer . ومنذ هذا التاريخ اقترح العالم Epstein فكرة الامتصاص الحيوي active absorption وكان العالم الالماني الفسيولوجي Van den Horest اول من وضع فرضية المواد او المركبات الناقلة او الحاملة Carriers غير ان ابشتاين قد اجرى عليها كثيرا من التعديلات ووضع تصميمًا حديثًا لها . ثم جاء العالم Hodges عام 1973 والذي اقترح فرضية الضخ

الايوني Ionen pump والتي تعتبر عكس نظرية العالم الانجليزي P.Mitchel والمعرفة باسم (Chemiosnotic theory) والتي اخذ عليها جائزة نوبل عام 1979 والتي كان قد بدأها في عام 1966 .

3.1 - تعريف وتقسيم :

يقال ان عنصرا غذائيا مهما اي ضروريا للنبات اذا توفرت فيه احد او جميع الشروط الآتية : -

- 1 - ان يدخل مباشرة في تركيب مادة النبات او احد اعضائه .
- 2 - بدون هذا العنصر لا يستطيع النبات ان يكمل دورة حياته .
- 3 - نقصه يؤدي الى ظهور اعراض نقص معينة على النبات لا تزول الا باضافة هذا العنصر الغذائي المعين .
- 4 - لا يمكن ان يعوض العنصر الغذائي اي عنصر آخر في جميع وظائفه .
- 5 - يوجه التفاعلات الحيوية التي تحدث بداخل النبات في اتجاه مفيد او ان يزيل الاثر الضار الناجم عن التفاعلات الحيوية المختلفة التي يقوم بها النبات .

هذا وتقسم العناصر الغذائية الى مايلى :

(أ) مجموعة العناصر الغذائية الكبرى **Macronutrient**

وهي العناصر الغذائية التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة ويقدر محتوى مادة النبات الجافة منها بحدود 0.1 الى 6% (اي بحدود 1 الى 60 ملغم / غم) وتشمل عناصر الكربون ، الهيدروجين ، الاوكسجين ، النروجين ، الفسفور ، البوتاسيوم ، الكالسيوم ، المغنيسيوم والكبريت

(ب) مجموعة العناصر الغذائية الصغرى **Micronutrient**

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة ويقدر تركيزها في مادة النبات الجافة من 1 الى 200 جزء بالمليون وتشمل عناصر الحديد ، النحاس ، المنغنيز ، الزنك ، البورون والمولبدنم و (الصوديوم) و (الكلور) .

ويجب ان يلاحظ ان تقسيم العناصر الى عناصر غذائية كبرى و صغرى ليس مبنياً على أهميتها للنبات ولكن فقط حسب الكمية كما اوضحنا سابقا فجميع العناصر الغذائية تتساوى في أهميتها للنباتات .

كما ان هناك نقطة جديرة بالملاحظة وهو ان تعبير العناصر النادرة او الاثرية قد يطلق على العناصر الغذائية الصغرى وهذا بالطبع تسمية خاطئة فصحيح ان العناصر الغذائية الصغرى هي عناصر نادرة ولكن ليس كل عنصر نادر هو عنصر غذائي مثل الكاديوم او الرصاص او الروبيديوم فهذه عناصر نادرة ولكنها ليست عناصر غذائية صغرى .

وبما تجدر الاشارة اليه ايضا ان هناك عناصر اخرى تسمى بالعناصر المفيدة Beneficial elements او النافعة وهي العناصر التي تكون مفيدة لنبات معين ولا يكون لها اي تأثير نافع او مفيد لنبات آخر مثل الكوبلت فهو عنصر مفيد للنباتات البقولية حيث انه ضروري لتكوين فيتامين B₁₂ والضروري لدخوله مباشرة في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية ولكن الكوبلت ليس له اي تأثير نافع على نباتات اخرى مثل النجيليات كالحنطة .

وبالمثل فإن للسليكون تأثير مفيد لنبات الرز في حين لم تثبت حتى الآن فائدته للنجيليات الاخرى . كذلك فإن الصوديوم له تأثير نافع لنبات البنجر السكري حيث يزيد نسبة السكر لهذا النبات .

كما نود ان نوضح هنا ان عنصري الصوديوم والكلور والتي وضعت بين اقواس ضمن مجموعة العناصر الغذائية الصغرى فانها تعتبر للنباتات الملحية من ضمن مجموعة العناصر الغذائية الكبرى حيث ان النباتات الملحية تحتاجها بكميات كبيرة جدا مقارنة بالنباتات الاخرى .

كما يمكن تقسيم العناصر الغذائية من ناحية وظائفها الفسيولوجية والحيوية الى المجموع الآتية :

المجموعة الاولى : وتشمل عناصر الـ C, H, O, N and S

حيث تدخل هذه العناصر في تركيب مادة النبات العضوية كما تقوم بتنشيط الانزيمات .

المجموعة الثانية : وتشمل عناصر الـ P, B and Si

حيث تشارك هذه العناصر في انتقال الطاقة وتكوين مجاميع الاسترات .

المجموعة الثالثة : وتشمل عناصر الـ K, Na, Mg, Ca, Mn, and Cl

ولهذه العناصر أهمية في الجهد الازموزي كما تساهم في عملية تكوين الانزيمات والبروتينات .

✓ المجموعة الرابعة : وتضم عناصر ال Fe, Cu, Zn and Mo حيث تعمل هذه العناصر على انتقال الالكترونات اي تتدخل في عمليات الاكسدة والاختزال التي تحدث بداخل النبات .

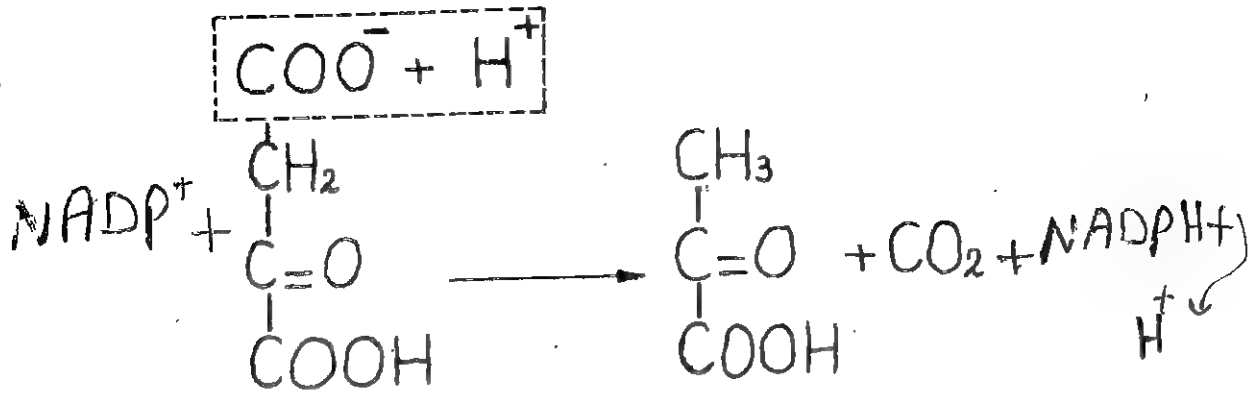
وهناك مجموعة اخرى من العناصر تتبع جميعها العناصر النادرة وهي ليست عناصر غذائية بمعنى انها لا تقع ضمن مجموعتي العناصر الغذائية الكبرى او الصغرى ولكن قد يكون لها تأثير مفيد على بعض انواع النباتات اذا وجدت بتركيز منخفضة في التربة او في النبات او في الهواء الجوي ولكن الصفة السائدة لهذه العناصر هو التأثير السمي حتى لو وجدت بتركيز قليلة في النباتات ولا تكون هذه العناصر فقط سامة للنباتات بل قد تكون سامة للحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات كالأعلاف الخضراء او تكون سامة للانسان اذا ما تغذى على هذه النباتات .

وتشمل هذه العناصر النادرة عناصر الكروم ، الفلور ، البروم ، اليود ، الألمنيوم ، النيكل ، الفناديوم ، السليسيوم ، الليثيوم ، الزرنيخ ، الباريوم ، الكالسيوم ، السترونيوم ، الزئبق ، الرصاص ، الكاديوم والتيتانيوم .

4.1 - الوظائف العامة :

كما بينا سابقا فإن عناصر الكربون والهيدروجين والاكسجين والنيتروجين والكبريت تدخل في تكوين المادة العضوية للنبات كالكاربوهيدرات والدهون والبروتينات الكربون والاكسجين بدرجة رئيسية من مكونات مجموعة الكربوكسيل ، والهيدروجين والاكسجين تدخل في عمليات الاكسدة والاختزال . كما ان النيتروجين على صورة (NH_2^- , NH_3^+ , NH_4^+) والكبريت على شكل (SH) يشتركان في عمليتي الاكسدة والاختزال . ومن هنا يتضح ان العناصر الغذائية السابقة علاوة على دخولها في تكوين المادة العضوية للنبات فانها تعمل كمنظمات في التفاعلات الحيوية والكيميائية الاولى التي يقوم بها النبات .

إن تمثيل الكربون في عملية التركيب الضوئي لغاز CO_2 يطلق عليها عملية ال Carboxylation وعملية فصل غاز CO_2 من مركباتها يطلق عليها عملية ال Decarboxylation . كما يحدث تحرر غاز CO_2 من حامض المالك Malic acid لتكوين حامض البايروفك Pyruvic والحفز في هذه العملية هو انزيم المالك malic enzyme acid ومساعد الانزيم هو $NADP^+$ وكما يلي :



شكل (2-1) عملية تحرر CO_2 بتفاعل Decarboxylation
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

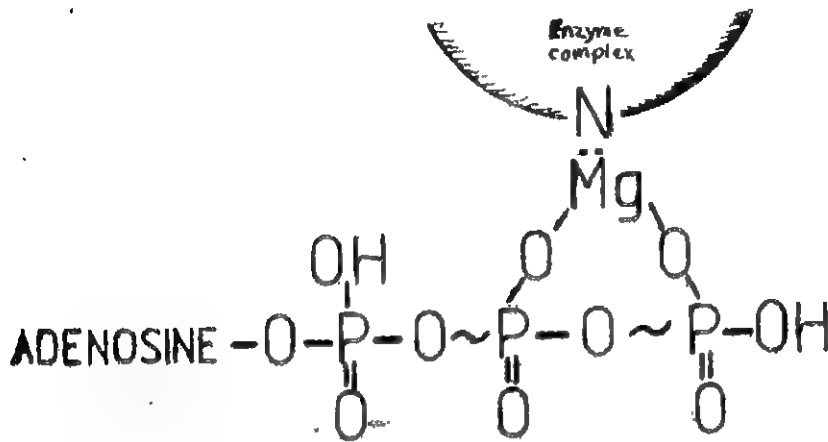
في هذا التفاعل تحررت ذرتان من الهيدروجين العائدة الى حامض المالك. واحدة منها استعملت في اختزال مساعد الانزيم NADP^+ (الصورة المؤكسدة) الى NADPH (الصورة المختزلة) والاخرى تحررت على شكل H^+ بروتون.

إن هذا المثال يوضح اشتراك ذرة النتروجين في العملية الانزيمية لفصل غاز CO_2 من حامض المالك حيث ان الانزيمات ومساعدات الانزيمات تحتوي على النتروجين. كما ان مجموعة الـ SH يمكن ان تدخل في عمليتي الاكسدة والاختزال سواء في النظام Cysteine او في الكلوتاثيون (Glutathione) والذي هو عبارة

عن ببتيد (Peptide) ثلاثي يتكون من الاحماض الامينية الثلاث الآتية وهي السستين Cysteine ، الكلايسين Glycine والكلوتاميك Glutamic والمجموعة S-S منتشرة في البروتين وهي تعمل على تثبيت بناء البروتين.

اما العناصر (K, Na, Ca, Mg, Mn, Cl) فيمكنها القيام بوظائف غير متخصصة كحفاظها على الجهد الازموزي (Osmotic potential) للخلايا النباتية او المحافظة على موازنة الايونات داخل الفجوة العصارية للنبات. غير أن هذه العناصر تقوم بالدرجة الاساس بتنظيم الانظمة الانزيمية enzyme systems وتعتبر عناصر الـ (K, Mg, Mn) هي الاكثر أهمية في التخصص في هذا المجال. ويعتبر البوتاسيوم متخصصا للانزيمات المهمة في عملية تكوين البروتين وانفصاله من الرايبوزوم (Evans and Sorger 1966) والمنغنيز يلعب دورا مهما في دورة كريس (Krebs cycle). اما المغنيسيوم فهو يربط بروتين الانزيم مع مجموعة البيروفوسفات العائدة الى المركب ذو الطاقة ATP (Adenosine triphosphate)

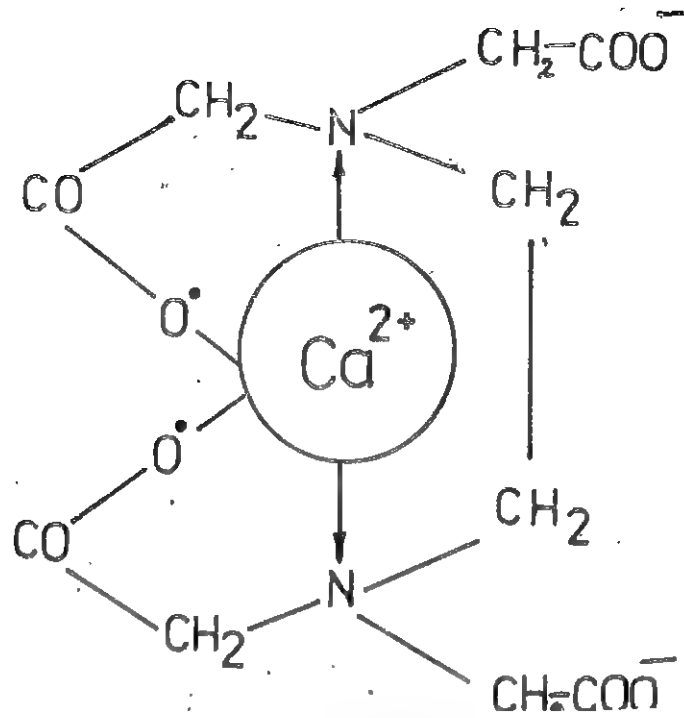
وبهذه الكيفية تحصل النباتات على الطاقة اللازمة لها لاجراء الكثير من وظائفها الحيوية المختلفة كما يتضح من الشكل التالي :



شكل (3-1) يوضح دور المغنيسيوم في تنشيط الانزيمات المعتمدة على الطاقة .
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

إن كلاً من الفوسفات والبورات والسليكات تكون استرات مع مجاميع الهيدروكسيل الخاصة بالمركبات العضوية وخاصة السكريات .

كما ان بعض العناصر الاخرى توجد على شكل مركبات مخلبية (Chelate Compounds) داخل النبات حيث تكون ذرة العنصر المعدني المخلبية هي المحاطة بمواد عضوية مرتبطة برباطتين او اكثر لتكوين تركيب حلقي حول العنصر كما يتضح من الشكل (4-1) التالي .



شكل (4-1) عملية تخلب الكالسيوم بواسطة الـ EDTA (Ethylenediamine tetra acetic acid) عن : (Mengel and Kirbky, 1982).

إن تكوين المركبات الخلبية مع العناصر الغذائية الصغرى تعتبر على درجة كبيرة من الأهمية فبالرغم من أن هذه المركبات المعقدة تكون ثابتة أي تحميها من الانفراد إلى محلول التربة وبالتالي تكون غير معرضة لعمليات الترسيب خصوصا تحت الظروف القاعدية كما هو الحال في الترب العراقية فإنها سريعة الذوبان في الماء وتستفيد النباتات بأكبر قدر من العناصر الغذائية الصغرى المضافة للتربة على هيئة المركبات الخلبية. أما إذا أخذت هذه العناصر في صورة أملاح فإنها تكون عرضة وبسرعة لعمليات الترسيب ولا يمكن للنباتات الاستفادة منها.

وتستخدم حاليا المركبات الخلبية على نطاق كبير خاصة في تسميد أشجار الفاكهة والبساتين ومحاصيل الخضار. ويتوقع أن تلقى هذه المركبات اهتماما واسعا من العاملين في المجال الزراعي بعد أن تنبه الباحثون إلى أهمية العناصر الغذائية الصغرى في قطرنا المناضل وبالفعل فهناك مشروع ضخيم في الخطة الخمسية 1990/1985 حول العناصر الغذائية الصغرى.

كما أن للمركبات الخلبية التي تتواجد طبيعيا في النبات أهمية كبيرة حيث أن ذرة الحديد الحرة تدخل في تركيب مجموعة الهيم (Haem) وأن المجموعة التكميلية (Prosthetic group) للهيم تدخل في تكوين العديد من الانزيمات ومنها (Cytochrome oxidase, peroxidase, catalase). إن الحديد الموجود في

مجموعة الهيم يمكن ان يتغير تكافؤه من الحديد الثنائي الى الحديد الثلاثي وبالتالي يمكن من انتقال الالكترونات والتي تعتبر الوظيفة الرئيسية للمجموعة التكميلية وكما يلي :



وبعبارة اخرى في حاله الاختزال (اي عندما يكون الحديد ثنائي التكافؤ (Fe^{2+})) فإن هذه المجموعة تسمى بالهيم (Haem) اما في حالة الاكسدة (اي عندما يكون الحديد ثلاثي التكافؤ (Fe^{3+})) فتدعى هذه المجموعة بالهيمين (Haemin) ، كما ان ذرات Co, Mn, Zn, Mo, Cu قد تسلك في وظيفتها نفس سلوك ذرات الحديد في الانظمة الانزيمية اي نتيجة تغير تكافؤها فانها تتمكن من نقل الالكترونات وبالتالي فانها تتمكن من القيام بعمليات الاكسدة والاختزال وتسيير التفاعلات الحيوية التي يحتاج اليها النبات .

ومن المركبات الخلبية المهمة الاخرى هي دخول المغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل غير ان المغنيسيوم هنا لا يغير تكافؤه اي انه لا يستلم كما انه لا يعطي الالكترونات . غير ان للكلوروفيل وظيفة مهمة وأساسية في حياة النبات حيث ان جزيئة الكلوروفيل قادرة على اطلاق (Emission) الكترون عند تعرضها للضوء وهذه هي الفكرة الاساسية لعملية التركيب الضوئي .

هذا وتمتص العناصر الغذائية الصغرى اذا ما اضيفت على هيئة مركبات خلبية بواسطة جذور النباتات او اوراقها على هذه الصورة وهي اما ان تدخل جميعها الى داخل النبات او ان يحصل لها انشطار على سطح الجذر ويمتص العنصر الغذائي فقط دون ما به من المادة العضوية

5.1 - التركيب الكيميائي غير العضوي للنبات :

1.5.1 - الماء Water

يعتبر الماء هو الوسط العام الذي تحدث فيه جميع الانشطة في الخلايا . ويمكننا ان نميز بين الكائنات التي تعيش على اليابسة وبين تلك الكائنات المائية التي تعيش في البرك والمستنقعات وكذلك في الانهار والبحار او المحيطات ولكن من الناحية الفسيولوجية فإن كل الكائنات الحية تعتبر كائنات مائية وان خلاياها تقوم بوظيفة ما عند توفر الماء فقط والا عجزت هذه الكائنات عن القيام بوظائفها في حالة غياب الماء .

وعندما يكون الامداد المائي قليل كما هو الحال في الصحراء فإن الكثافة العددية للكائنات الحية بما فيها النباتات والحيوانات تكون منخفضة كثيرا ، وتكون حياة النبات بصورة افضل واكثر في مناطق الغابات حيث يزيد المعدل السنوي لسقوط الامطار عن 1000 ملم .

تعيش النباتات المائية مغمورة بالماء اما على اليابسة فإن جذور النبات هي الموجودة في الوسط المائي والذي يمثل هنا محلول التربة والمحتوي على املاح وعناصر مغذية في صورة ايونية ذائبة في الماء صالحة للامتصاص بواسطة جذور هذه النباتات . كما يلاحظ في الاشجار الشاهقة الارتفاع تحصل على حاجتها من الماء وهذا يمكن تفسيره او تعليله بأنه لا بد من ان هناك ميكانيكيات خاصة تمكن هذه الاشجار من الحصول على حاجتها من ماء التربة .

كما يلاحظ ان مادة النبات الطازجة (Fresh weight) تحتوي على اكثر من 75-90% ماء اما الانسجة غير المنشطة في البذور السابتة او الميتة كما هو الحال في الخشب القريب من قلف ساق الاشجار فانها تحتوي على كمية اقل من الماء .

وبما تجدر الاشارة اليه ان عملية انبات البذور لا يمكن ان تحدث الا بعد تشربها بكمية معينة من الماء والتي تعمل على تمزيق او اضعاف اغلفة البذور الصلبة لتمكين الرويشة والجذير من الخروج منها كما ان عملية الانبات نفسها تحتاج الى عناصر غذائية وهذه تكون موجودة في داخل البذرة والتي لولا اذابتها بالماء لما تمكنت هذه البذرة من الانبات .

ونتيجة لارتفاع نسبة الماء في النباتات الحية فإن نسبة عنصري الهيدروجين والاكسجين تفوق نسب بقية العناصر الاخرى والداخلية في تركيب مادة النبات الحية . والسؤال المطروح هو ما هي الاسباب التي تجعل الماء ان يكون الوسط السائد على بقية السوائل الاخرى او الغازات او المواد الصلبة والضرورية لكل الكائنات الحية .

لقد تم تناول هذا الموضوع بالتفصيل في علم فسلجة النبات بواسطة الكثير من العلماء والتي تجعل الماء هو الوسط الملائم والسائد وذلك لثمنه بصفات فريدة منها مايلي : -

(1) لسيادته او وفرة على الارض حوالي 1.25×10^{24} غم وهذه الكمية تكون كافية لطبقة مقدرها 2.5 كم في العمق اذا ما أمكن تصور انتشارها بالتساوي على سطح الكرة الارضية .

(2) درجة الحرارة السائدة على معظم سطح الارض فإن الماء يكون سائلا ذو ديناميكية مناسبة لمختلف الانشطة الكيميائية الضرورية للحياة . في حين تكون الغازات اكثر ديناميكية والمواد الصلبة تكون اكثر صلابة بحيث تصبح غير ملائمة للأنشطة الكيميائية والحيوية للكائنات الحية .

(3) القدرة الكبيرة للماء تجعله يستخدم كمنظم للحرارة حيث تكتسب او تنفذ كميات كبيرة نسبيا من الحرارة لكل غرام واحد من الماء مقارنة ببقية السوائل او الغازات الاخرى حيث ان الغرام الواحد من الماء يكتسب او يفقد من 500-600 سعرة حرارية وهذه الخاصية على درجة كبيرة من الاهمية بالنسبة للكائنات لاسباب الآتية :

أ - إنها تمد بأقصى كمية من التبريد لكل وحدة فقد من الماء .

ب - تقلل الفقد من الماء .

(4) ارتفاع الشد السطحي للماء : وهذه تعتبر صفة هامة اخرى للماء حيث تعمل على حفظ الجوانب التي توجد عليها الخلايا الرطبة الملاصقة للهواء كما إن هذه الصفة تقوى تثبيت الاغلفة المائية حول حبيبات التربة وذلك عندما يزداد الماء ويملأ الفراغات الموجودة بعد عمليات الري أو سقوط الأمطار .

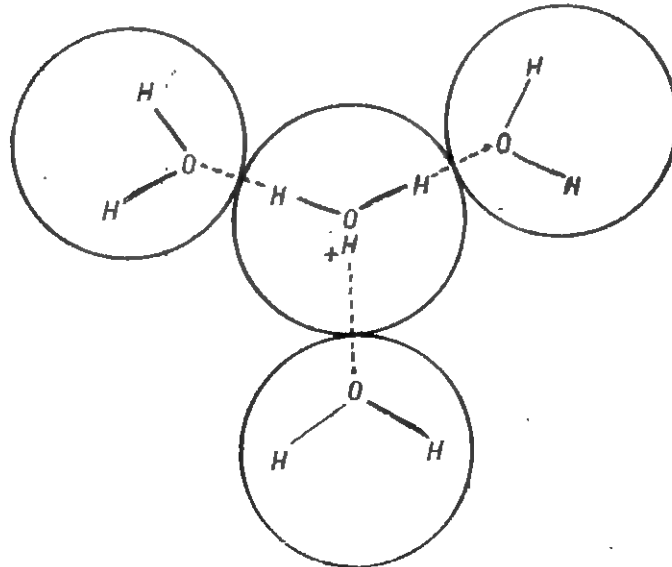
(5) يعتبر الماء افضل المذيبات : حيث ان هناك قليل من المواد ذائبة بدرجة ما في الماء ومعظم المواد ذات الاهمية البيولوجية تكون ذائبة في الماء بدرجة كبيرة وهذا يعتبر عامل بالغ الاهمية بالنسبة للتغذية المعدنية للنبات حيث تكون الاملاح غير العضوية ذات درجة ذوبان عالية في الماء . ويعتمد نمو النباتات على الحركة المستمرة والثابتة من العناصر المعدنية خلال الخلايا النباتية ولا يوجد مذيب آخر حتى وقتنا هذا غير الماء للمقيام بهذه الوظيفة وحمل أو نقل أيونات العناصر الغذائية من محلول التربة عبر الجذور الى مختلف أعضاء النبات .

(6) نظرا لان لزوجة الماء تكون قليلة جدا مقارنة ببقية السوائل الاخرى فهذا يعمل على تسهيل انتشار جزيئات الماء حاملا معه مختلف ايونات العناصر الغذائية عبر القنوات الضيقة للاوعية التي يمر الماء خلالها .

جدول (1-1) يبين المحتوى المائي لنباتات مختلفة وأعضائها معبرا عنها كنسبة مئوية للوزن الطري : (Mengel and Kirkby, 1982)

90-95	مادة النبات الخضراء الحديثة السن
92-93	الجذور الحديثة السن
75-85	الاوراق القديمة
15-20	القش لمحاصيل النجيليات بعد النضج
15	الحشيش المجفف للعلف
10-16	بذور النجيليات
7-10	بذور السلجم
92-93	ثمار البطاطة
86-90	البرتقال (ثمرة)
74-81	التفاح (ثمرة)
73-78	الموز (ثمرة)
75-80	درنة البطاطا
75-80	جذور البنجر السكري

وكثير من الصفات الفريدة للماء تعود الى وجود الآصرة الهيدروجينية (H-bond) ذات الرابطة المنخفضة الطاقة والتي تكون فيها ذرات الهيدروجين جسرا او قنطرة مع ذرات الاوكسجين ونتيجة لهذه الرابطة فإن جزيئات الماء مرتبطة مع بعضها بصورة هشة كما في الشكل (5-1) .



شكل (5-1) يبين الآصرة الهيدروجينية للماء .

حيث تمثل النقاط الآصرة الهيدروجينية بين جزيئتين من الماء وتكون الطاقة المحتاج اليها في كسر هذه الآصرة هي التي يرجع اليها السبب في ثبات الماء والذي ينعكس في مثل هذه الصفات التي تعود الى ارتفاع الحرارة الكامنة للتبخر وكذلك لارتفاع الشد السطحي .

2.5.1 - المادة الجافة Dry matter

عند تجفيف مادة النبات الطازجة (Fresh) على درجة حرارة 70 مئوية لمدة 24-48 ساعة فإن المادة الجافة المتبقية تصبح بدرجة تقريبية من 10-20% وفي المتوسط 15% من الوزن الاولي الطازج او الطري (Fresh Weight) . وتحسب نتائج التحليلات الكيميائية للمادة النباتية في المعتاد على اساس الوزن الجاف وليس على اساس الوزن الرطب حيث أن الوزن الرطب يكون عرضة للتغير بتغير الوقت اليومي وكمية الرطوبة المتيسرة في التربة وشدة النتح والتي تتوقف بدورها على درجة الحرارة وسرعة الرياح وحتى الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط بالنبات .

كما إن الوزن الرطب يتوقف على عوامل اخرى مثل نوع النبات وعمره ونوع العضو النباتي (جذور ، اوراق ، سيقان ، ازهار ، بذور ، او اثمار) . هذا وغالبا ماتكون العناصر الثلاثة وهي الكربون والاكسجين والهيدروجين أكثر من 90% من وزن المادة الجافة لمعظم النباتات .

أن الجدول رقم (1-2) يوضح ان نبات الذرة الصفراء يحتوي على هذه العناصر بنفس النسبة التي توجد مرتبطة في الكربوهيدرات (CH_2O) وهذا انعكاس للحقيقة ان كتلة الوزن الجاف للنباتات تكون كنتيجة لجدار الخلايا التي تتكون اساسا من السليلوز كمثال لذلك في مادة الكربوهيدرات المعقدة ويحيط بجدار الخلية الساييتوبلازم والذي يمثل المجموع الكلي للبروتينات وبعض المشتقات الكيميائية الاخرى التي تخلق نظام الحياة للخلية .

وعلى أساس الوزن فإن الساييتوبلازم واحتوائاته غير الحية مثل الفجوات تؤدي الى تكوين نسبة صغيرة من المادة الجافة في النباتات .

وتتكون المادة الجافة من شقين :

Mineral Composition

Organic composition

(أ) الشق او التركيب المعدني

(ب) الشق او التركيب العضوي

جدول (2-1) التركيب المعدني لبعض الكائنات الحية والمواد
 Elemental composition of some organisms and substances
 عن : (Epstein , 1972)

عنصر Element	Per cent of dry matter				البروتين Protein
	نبات الذرة الصفراء corn plant Zea mays	الانسان Man, Homosapiens	الكاربوهيدرات Carbohydrates	الدهن Fat	
O	44.43	14.62	51.42	11.33	24
C	43.57	55.99	42.10	76.54	52
H	6.24	7.46	6.48	12.16	7
N	1.46	-	-	-	16
Si	1.17	0.005	-	-	-
K	0.92	1.09	-	-	-
Ca	0.23	4.67	-	-	-
P	0.20	3.11	-	-	-
Mg	0.18	0.16	-	-	-
S	0.17	0.78	-	-	-
CL	0.14	0.47	-	-	-
AL	0.11	-	-	-	-
Fe	0.08	0.012	-	-	-
Mn	0.04	-	-	-	-
Na	-	0.470	-	-	-
Zn	-	0.010	-	-	-
Rb	-	0.005	-	-	-

Corn plant, from Miller (1938), man, recalculated after Oser (1965), carbohydrate, on the basis of sucrose, fat, on the basis of oleic acid, Protein, after various sources.

أذا كانت المادة الجافة تشكل حوالي 15% من الوزن الطري للنبات . وحيث أن 90% من هذه النسبة تمثل بعناصر الكربون والاكسجين والهيدروجين فهذا يعني أن 10% من النسبة (15%) يمثل العناصر المعدنية التي تحتوي عليها مادة النبات الطرية . وبعبارة أخرى فإن العناصر المعدنية فيما عدا الكربون والماء يكون في المتوسط حوالي 1.5% من وزن النبات الطري .

وهذه النسبة تكون التركيب المعدني للنبات والمحتوية على العناصر الغذائية الكبرى والصغرى وبعض العناصر النادرة الأخرى والتي تمتصها النباتات من الوسط المحيط بها وخاصة من محلول التربة .

ولتقدير العناصر المعدنية فإن ذلك يتم بعمل رماد للمادة النباتية وذلك للتخلص من مركبات الكربون العضوية وذلك بحرقها على درجة حرارة من 500-600 درجة مئوية لمدة 6-8 ساعات ويكون الجزء العضوي هو ذلك الجزء القابل للاحتراق والتطاير ، أما الجزء المعدني غير العضوي فغير قابل للاحتراق أوالتطاير .
الآن أن بعض العناصر قد تفقد أثناء عملية الاحتراق حيث يتطاير الفسفور إذا ارتفعت درجة الحرارة عن 600 درجة مئوية ، والزنك يتطاير إذا ارتفعت درجة الحرارة عن 450 درجة مئوية والبتواسيوم يفقد إذا زادت درجة الحرارة عن 480 درجة مئوية . كما أن النتروجين يكون عرضة للفقد بالتطاير حتى عند درجات حرارة ما بين 80-100 درجة مئوية ولذلك ينصح باتباع طريقة الهضم الرطب بالاحماض وهي احماض النتريك والكبريتيك والبيركلوريك حيث يتم الهضم على درجات حرارة منخفضة لزيادة بأي حال من الأحوال عن درجة غليان هذه الاحماض أي بحدود 250 درجة مئوية . وبالنسبة لعنصر النتروجين فإنه يقدر بواسطة جهاز كلدال .

أما المادة العضوية فهي تكون الجزء الأكبر من مادة النبات الجافة وتصل كميتها الى 90% في المتوسط من مادة النبات الجافة . وتتركب المادة العضوية أساسا من عناصر الكربون والاكسجين والهيدروجين كما يدخل في تركيبها عناصر النتروجين والفسفور والكبريت وبعض العناصر التي تميل الى تكوين مركبات مخلبية مع المركبات العضوية مثل الحديد في تكوين الهيم (Haem) والمغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل والكوبلت في تكوين فيتامين B₁₂ والآخر مهم في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية . ويمكن تقسيم المواد العضوية الى :

(1) مواد لا يدخل النتروجين في تركيبها ومن هذه المواد :
أ - المواد الكربوهيدراتية ومشتقاتها مثل السكريات الثنائية ، النشاء ، السليلوز ، الهيميسليلوز الخ .

ب - الاحماض العضوية مثل احماض المالك واللاكتيك والستريك ... الخ .
ج - الزيوت والدهون .

(2) مواد يدخل النتروجين في تركيبها ومن هذه المواد :

أ - الاحماض الامينية والتي تتكون منها البروتينات .
ب - الكلوروفيل .

ج - الامينات والاميدات والقواعد النتروجينية .

د - القلويدات العضوية Alkaloides مثل النيكوتين والمورفين والكافئين ... الخ .

هـ - مواد أخرى معقدة التركيب مثل الانزيمات ومساعد او مرافق الانزيمات والاحماض النووية والفيتامينات والهرمونات النباتية .

وبالرغم من ان المعادن لا تشكل الا جزءا ضئيلا من مادة النبات والتي تبلغ بحدود 1.5% من مادة النبات الطرية كما سبق وان اشرنا الى ذلك الا أنها على درجة كبيرة من الاهمية حيث تمكن النباتات الخضراء من القيام بعملية التركيب الضوئي وبناء مادتها العضوية . كما أن الدراسات الحديثة قد بينت على أن النبات يحتوي على آلاف الانزيمات والتي قد تعمل في آن واحد او على التعاقب طبقا لما تتلقاه من معلومات من الاحماض النووية والمسيرة لمختلف التفاعلات الحيوية التي يحتاج اليها النبات وهذه الانزيمات تكون غير فعالة في حالة غياب العناصر المعدنية خاصة العناصر الغذائية الصغرى (Bergmann, 1983) .

3.5.1 — العوامل التي يتوقف عليها التركيب الكيميائي المعدني للنبات :

أ - العوامل الوراثية :

تلعب العوامل الوراثية الدور الرئيسي في تحديد محتوى النبات من العناصر المعدنية . وهذه العوامل تفسر الحقيقة بأن ما تحتويه مادة النبات الخضراء من عنصري النتروجين والبوتاسيوم حوالي عشرة اضعاف محتواها من الفسفور والمغنيسيوم وهذه بدورها قد يصل محتواها من 100-1000 ضعف اعلى من العناصر الغذائية الصغرى .

فقد لاحظ (Collander 1941) ان محتوى نبات الـ (Atriplex hortense) وجنس (Vicia) من الصوديوم اكثر من 60 ضعفا من جنس الـ (Zea) وان جنسي

الـ (Lactuca والـ Pisum) محتواها اكثر من 60 ضعفا من عنصر المنغنيز من جنس الـ (Nicotiana) .

إن محتوى النباتات ذوات الفلقتين بصورة عامة من الكاتيونات ثنائية التكافؤ اعلى من الكاتيونات احادية التكافؤ وهذا يتفق تماما مع ان النباتات ذوات الفلقتين تمتلك سعة تبادل كاتيونية اكثر من السعة التبادلية الكاتيونية للنباتات ذوات الفلقة الواحدة (McLean et al., 1956) و (Drake and White, 1961) .

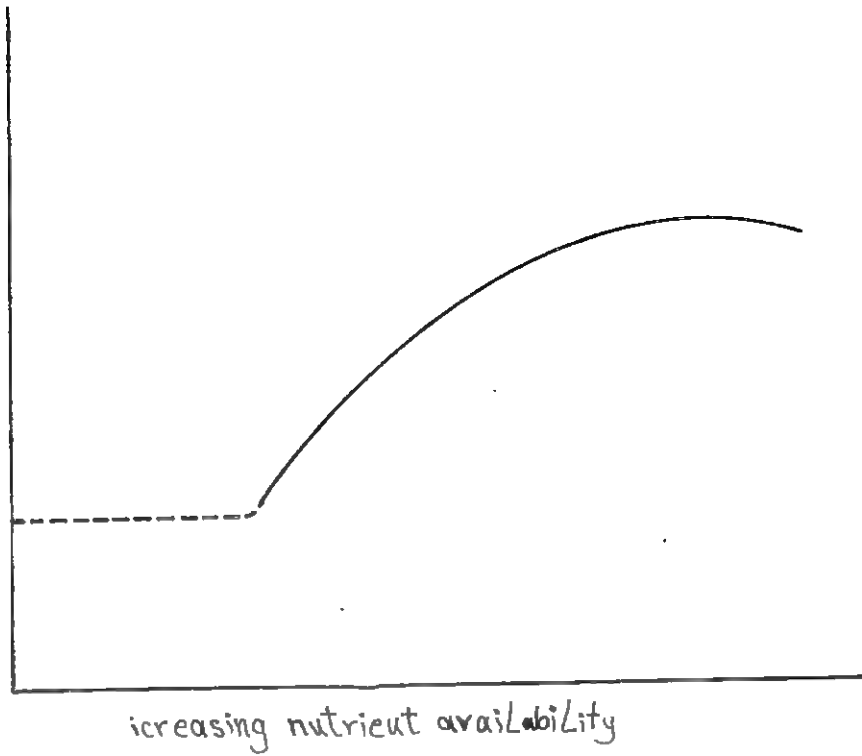
وعموما يمكن القول ان محتوى البقوليات من عناصر الـ N, Ca, P اعلى من النجيليات . وإن الحمضيات ذات محتوى عالي جدا من عنصر الكالسيوم قد يصل الى اكثر من 6% دون ان يكون له تأثير سمي كما ان ثمار التفاح ذات محتوى عالي نسبيا من عنصر الكالسيوم قد يصل الى 3% ، والأّ تسبب نقصه بالنقرة المرة Bitter Pit في ثمار التفاح . أما نبات عباد الشمس فإن احتياجاته عالية من عنصري البورون والكالسيوم وقد يصل تركيز البورون الى اكثر من 10 جزء بالمليون (ppm) في المحلول المغذ دون أن يسبب سمية له في حين ان تركيز 2 جزء بالمليون قد يسبب سمية للنباتات النجيلية ولذلك يقال ان نبات عباد الشمس حساس لعنصر البورون . كما ان محاصيل البطاطا والبنجر السكري وقصب السكر ذات محتوى عالي من عنصر البوتاسيوم لأهميته في عملية تكوين ونقل الكربوهيدرات من اماكن تكوينها الى اماكن تخزينها ، والسبانغ يعتبر غنياً بعنصر الحديد .

كما ان نباتات اللهانة والقرنابيط والشلغم والخردل والكلم والبصل والثوم والفجل والى حد ما البقوليات بصفة عامة تحتوي على نسبة عالية من عنصر الكبريت والذي يدخل في تكوين زيت الخردل أو ما يسمى احيانا بالزيوت الطيارة (Mustard oil glucosides) .

ب - جاهزية العناصر الغذائية :

يزداد تركيز العناصر الغذائية في النبات كلما كانت كميتها في وسط النمو والتي تكون جاهزة Available للامتصاص عالية . ويقصد بالجاهزية ان تكون ايونات املاح العناصر الغذائية في حالة ذائبة في محلول التربة وبالصورة القابلة للامتصاص بواسطة جذور النبات كما يتضح ذلك من الشكل التالي :

محتوى النبات من العناصر الغذائية
Nutrient content in the plant

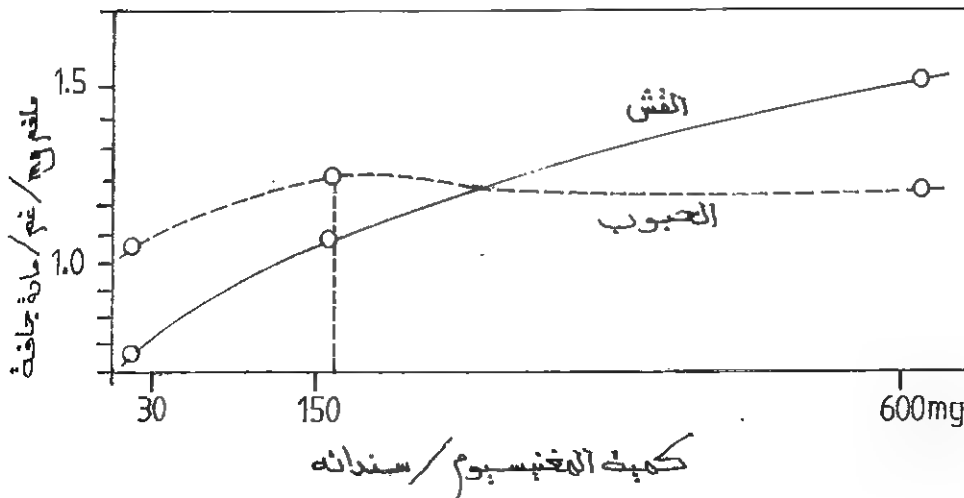


زيادة جاهزية العنصر الغذائي

شكل (6-1) العلاقة بين جاهزية العنصر الغذائي في وسط النمو ومحتوى النبات من هذا العنصر .
عن : (Mengel and Kirby, 1982)

ج - اختلاف العضو النباتي :

يختلف محتوى مادة النبات من المغذيات باختلاف نوع العضو النباتي ومدى احتياج النبات للعنصر المعدني في كل عضو من اعضاء جسمه المختلفة (جذور ، سيقان ، اوراق ، ازهار ، حبوب ، او ثمار) .

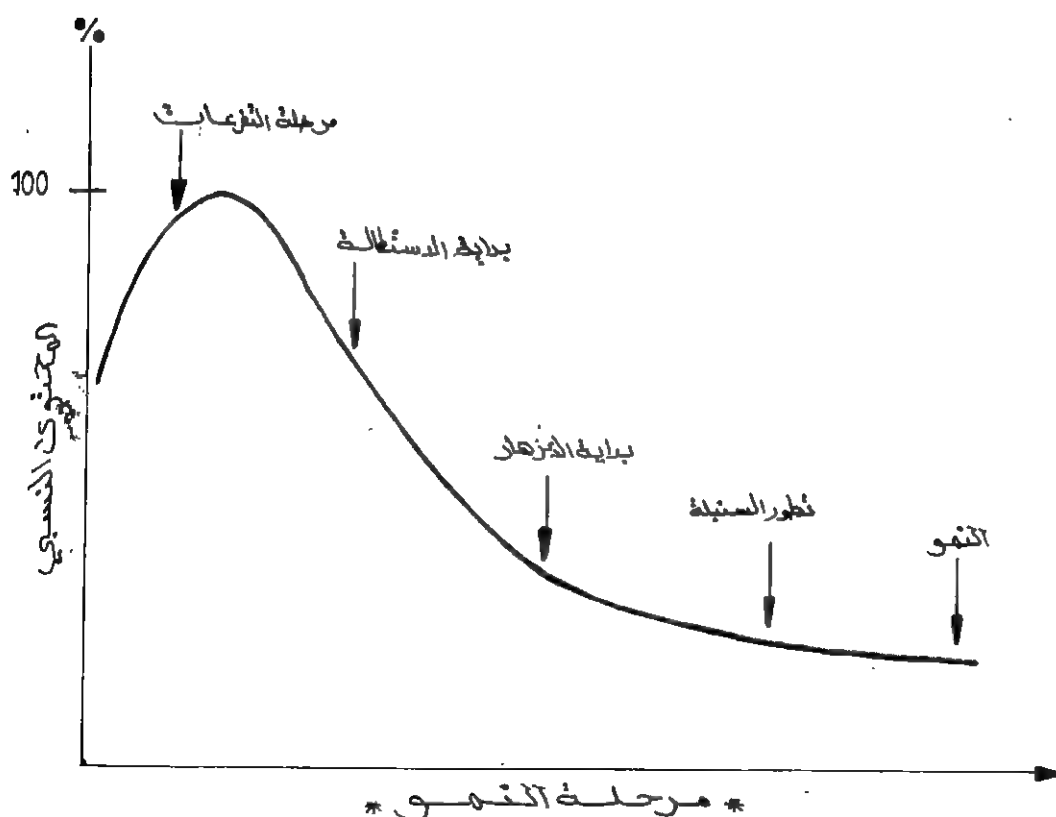


شكل (7-1) تأثير إضافة المغنيسيوم على المحتوى من المغنيسيوم في كل من القمح والحبوب .
عن : (Schrelber, 1949)

يستنتج من الشكل بأن زيادة المغنيسيوم يكون تأثيره اكبر في محتوى المغنيسيوم لمادة القش من تأثيره في الحبوب. هذه العلاقة تكون صحيحة كذلك لعناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكالسيوم والحديد.

د - اختلاف عمر النبات :

إن محتوى النبات من العناصر المعدنية يتأثر أيضا بدرجة كبيرة بعمر النبات فقد لاحظ (Smith, 1962) أكثر من مرة أن محتوى النباتات الحديثة السن وكذلك الاجزاء الحديثة تحتوي على كميات عالية من النتروجين والفسفور والبوتاسيوم بينما في النباتات المسنة والاجزاء الأكثر نضجا يكون محتواها من الكالسيوم والمنغنيز والحديد والبورون اعلى كما يتضح من الشكل (8-1).



شكل (8-1) محتوى نبات الشوفان من عناصر الـ NPK خلال فترة النمو.
عن : (Scharrer and Mengel, 1960)

إن زيادة عناصر الـ (N,P,K) في الاسابيع الاولى يمكن تفسيرها بزيادة معدل الامتصاص عن معدل نمو النبات ولكن مع تقدم عمر النبات خاصة بعد عملية التفرع وحتى بداية عمليات الازهار يحصل نمو كبير للنبات مما يجعل زيادة معدل النمو اعلى بكثير من معدل الزيادة المتصلة من هذه العناصر ولذلك يقل تركيزها بسبب ما يطلق عليه بعملية تخفيف التركيز ولكن يجب الا يقودنا هذا للوقوع في الخطأ في الاستنتاج فان كمية العنصر الكلية للنبات التام النضج هي بلاشك اعلى بكثير عند مقارنتها بنبات حديث العمر .

هذا ويعبر عادة عن محتوى العناصر الغذائية الكبرى في المادة الجافة للنبات والمجففة على درجة حرارة (105) درجة مئوية بالملغم / غم مادة جافة ، اما بالنسبة للعناصر الغذائية الصغرى فانه يعبر عنها بالجزء بالمليون (ppm) والـ ppm معناه ملغم / لتر تعبيراً عن تركيز المحاليل او معناه ملغم / كغم من المادة الجافة او للتربة .

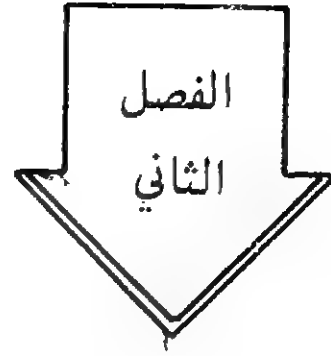
ويذكر ان التعابير السابقة تكون اكثر ملاءمة عند تقدير ما امتصه النبات من العناصر الغذائية او عند تحليل النبات لمعرفة جاهزية العناصر الغذائية في التربة . ولكن من الناحية الفسيولوجية فانه يفضل ان يعبر عن تركيز العناصر الغذائية بالنسبة للوزن الرطب بشكل ملليمول (mM) او ملليمكافىء (me) كأن يقال 2.5 ملليمكافىء من البوتاسيوم / 100 غم من المادة الرطبة حيث أن ذلك يعطي وضوحاً افضل لمحتوى الخلية النباتية من تركيز العناصر المعدنية .

كما قد تستعمل هذه الرموز (me or mM) في حالة توضيح تركيز الجزيئات العضوية للاحماض الامينية والاحماض العضوية والسكريات .

إن استعمال الرموز mM و me يكون مميّزا لوجود علاقة فسيولوجية مثل تأثير العمر على ما تحتويه اعضاء النبات من العناصر المعدنية . وبصورة عامة فإن محتوى المادة النباتية من الماء يكون اكثر في اجزاء النباتات الحديثة السن وقد يكون هذا تفسيراً لانخفاض تراكيز عناصر N, P, K فيها .

الجدول (3-1) : محتوى العناصر المعدنية لمختلف اجزاء النبات . عن : (Mengel, 1972)

العنصر	الاجزاء العليا من نبات الشوفان في مرحلة التفرعات	حبوب الشوفان	قش الشوفان	الشلغم في مرحلة النمو الخضري
ملغم / غم من المادة الجافة للنبات				
N	39	17	4.5	56
P	4.4	4.3	1.2	4.9
S	3.2	2.8	3.3	9.3
Cl	15	2.7	14	12
K	43	6.4	14	46
Na	5.3	0.2	3	1.3
Ca	9.4	2.2	9	29
Mg	2.1	1.2	1	2
Si	3.5	1.8	3.3	3.4
جزء بالمليون في المادة الجافة				
Fe	74	53	85	550
Mn	130	80	50	250
Zn	41	31	42	85
B	6	1.1	7	35
Cu	7	3	2.3	7
Mo	2	1.6	1	-



علاقة النبات بأوساط النمو المختلفة

1.2 - فكرة عامة :

وسط نمو النبات عبارة عن المكان او البيئة التي يتواجد فيها او يعيش عليها النبات والتي يحصل منها على مواده الاولية البسيطة من ماء وهواء وعناصر معدنية والضرورية لنموه .

ومن المعلوم انه يوجد نوعان من النباتات على سطح الكرة الارضية النباتات المائية وهذه اما تعيش مغمورة بالمياه كما هو الحال في قاع المحيطات او في البحيرات سواء كانت هذه المياه مالحة او عذبة ، وهنا تكون جميع خلايا النبات في تماس مباشر مع وسطها او بيئتها المائية او قد يحدث احيانا وكما هو الحال عليه في مصبات الانهار او المستنقعات او الاهوار ان يكون النبات مغمورا بالمياه ولكن قد يحدث الخسار للمياه بحيث تصبح الاجزاء الهوائية لهذا النبات معرضة تماما للهواء الجوي ، وسواء كانت هذه أو تلك فهي تعيش في الماء ولذلك يطلق عليها النباتات المائية . وتتميز هذه النباتات بأنها تعيش في وسط بيئي ذو تركيب كيميائي معين يتراوح تركيز املاحه بحدود 3.5% كما في المحيطات الى وسط اقل من ذلك ولكنه مازال ملحيا مثلما هو موجود على ضفاف الثلجات او الانهار والجداول الجبلية او البحيرات .

اما نباتات اليابسة فتعتبر التربة هي الوسط الذي تعيش عليه النباتات وتعتبر المصدر الرئيسي لموادها الاولية .

ومن المعروف أن التربة وسط غير متجانس معقد التركيب تختلف في صفاتها الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية اي في درجة خصوبتها من مكان الى اخر كأن تختلف من متر الى متر بل من شبر الى شبر . ويرجع هذا الاختلاف الى عوامل عديدة اهمها مادة الاصل (Parent material) والمناخ (Climate) والطبوغرافيا (Topography) اي ارتفاع وانخفاض التربة والزمن (Time) او عمر التربة (Soilage) الذي تكونت فيه التربة أو مضى على تكوينها واخيرا العامل البيولوجي Biological factor والذي يمثل احياء التربة المجهرية Soil microorganisms كما يجب الا ننسى ان الانسان نفسه وتدخله بطريقة ما (Jenny, 1947) قد يلعب دورا لا يستهان به في تغيير خصوبة التربة كنوع الاسلوب المستخدم في الزراعة كالحراثة البدائية او استخدام احدث ما توصل اليه العقل البشري من تقنية واستخدامها في عمليات الحراثة كما ان نوع المحراث المستخدم سواء بالحرماشة اليدوية او المحراث الحفار او الدسك او محراث تحت التربة وعدد مرات الحراثة والتنعيم قد يكون لها تأثيرات ايجابية او سلبية على خصوبة التربة .

كما ان اضافة الاسمدة سواء كانت عضوية او كيميائية وانواعها وكمياتها وموعد وطريقة اضافتها والاسلوب الخاطيء أو الملائم للري كالري السطحي (السطحي) او الرش او التنقيط ووجود او عدم وجود نظام متكامل للري والنبزل تعتبر من العوامل المهمة للمحافظة على خصوبة التربة او تدهورها .

الى جانب الماء والتربة فإن الغلاف الجوي يعتبر احد مصادر تغذية النبات ، فعملية التركيب الضوئي للنباتات التي تعيش على اليابسة تأخذ غاز ثاني اوكسيد الكربون وكذلك تأخذ الاوكسجين لتنفسها من الغلاف الجوي ، كما ان غاز SO_2 الموجود في الهواء الجوي يعتبر مصدرا لتغذية النباتات . وهناك دراسات على ان نبات القطن قد اخذ مايعادل 30% من احتياجاته من عنصر الكبريت من غاز SO_2 الجوي (Mengel, 1972) .

ان ما يتساقط مباشرة من عناصر معدنية منقولة بواسطة الهواء الجوي على النباتات او في التربة كحدوث شرارة كهربائية في الجو Electrical discharge وتكوين اكاسيد النتروجين NO , N_2O , N_2O_5 , NO_2 والتي تنزل مع ماء المطر مكونة النترات وبطريقة مشابهة لنزول غبار المصانع المحتوى على غازات الكبريت خاصة في المناطق الصناعية والتي تنقل بواسطة مياه الامطار للتربة توضح لنا مدى مساهمة الهواء الجوي في تغذية النبات (Corham, 1961) .

كما نود ان نشير هنا انه من بين جميع الاشياء الحية فإن النباتات التي تعيش على اليابسة تتواجد في بيئة تختلف عن بقية الاحياء الاخرى حيث أن جذورها تتواجد في التربة في حين اجزائها الاخرى تكون في تماس مباشر مع الغلاف الجوي وهذا بدوره جعل من الضرورة بمكان ان يحدث تطور فريد سواء في بناء أنسجتها أو في ميكانيكيات حركة المواد بين جذورها وأجزائها الهوائية وهذا يختلف كلياً عما هو موجود عليه الحال في الحيوانات .
وتشمل اوساط نمو النبات مايلي :

2.2 - التربة

تعتبر التربة المصدر المباشر للمواد المعدنية للنباتات التي تعيش على اليابسة ، فأغلب المغذيات تؤخذ بصورة رئيسية من التربة ، كما ان مصدر الهيدروجين والاكسجين هو الماء ومصدر النتروجين هو الغلاف الجوي حيث ان احياء التربة لديها القدرة على تثبيت النتروجين الجوي وتحويله الى صورة جاهزة للنباتات الراقية .

ومما تجدر الاشارة اليه ان جزيء الماء الذي يمتص بواسطة جذور نبات معين في مكان معين في يوم معين قد يتواجد في اليوم الثاني على بعد عدة أميال بعيداً عن هذا النبات ، وهذا بالطبع لا يمكن أن يحدث للعناصر الاخرى مثل البوتاسيوم ، المغنيسيوم ، الفسفور أو العناصر المعدنية الاخرى ، فهذه لا يمكن انتقالها بنفس الكيفية بواسطة الغلاف الجوي بعيداً عن النبات ، بل أنها مجرد مركبات ذائبة في محلول التربة أو انها تتحرك من الجزء الصلب للتربة وتكون قريبة من منطقة جذور النباتات (Rhizosphere) والمسافة التي تنتقلها من التربة الى جذور النبات تقاس غالباً بالميكرون ، أو أنها تنتقل لمسافة أكثر من ذلك عندما تنتقل الأيونات المتواجدة في محلول التربة عبر الشقوق أو المسام الموجودة بين خبيبات التربة . وعلى أي حال اذا ماقورنت حركتها مع حركة العناصر التي تتحرك مع الغلاف الجوي على سطح الكرة الارضية فإنها قليلة جداً ولذلك فإنه يمكن القول وبوجه عام ان معظم العناصر الغذائية المعدنية تكاد تكون غير متحركة في الترب . هذه الحقيقة فرضت على النبات الذي يعيش على اليابسة من أن يتكيف ويتأثر بشكل يسهل عليه أو يمكنه من امتصاص أو الوصول الى العناصر المعدنية الضرورية لحياته . ولهذا السبب نجد أن جهاز الامتصاص (الجذور) قد تكيف بحيث يمكنه أن ينتشر أفقياً أو يتغلغل في التربة للأعماق بشكل كبير الأمر الذي يزيد من امكانية زيادة مساحة سطوح الامتصاص والتي تكون في تماس مباشر مع سطح التربة .

وفي احدى الدراسات فقد قام العالم (Dittmer, 1937) بزراعة نباتات الشيلم *Secale cereale* (Rye) في صندوق ابعاده (30.5×30.5×55.9 cm) لمدة أربعة شهور ثم قام بفصل جذور نبات واحد من التربة وبغية الحصول على المجموع الجذري كاملا قام بغسلها بجذر بواسطة تيار من الماء فوجد أن مساحة جذور هذا النبات هي 639m² ومجموع اطوالها بلغ 623 كم.

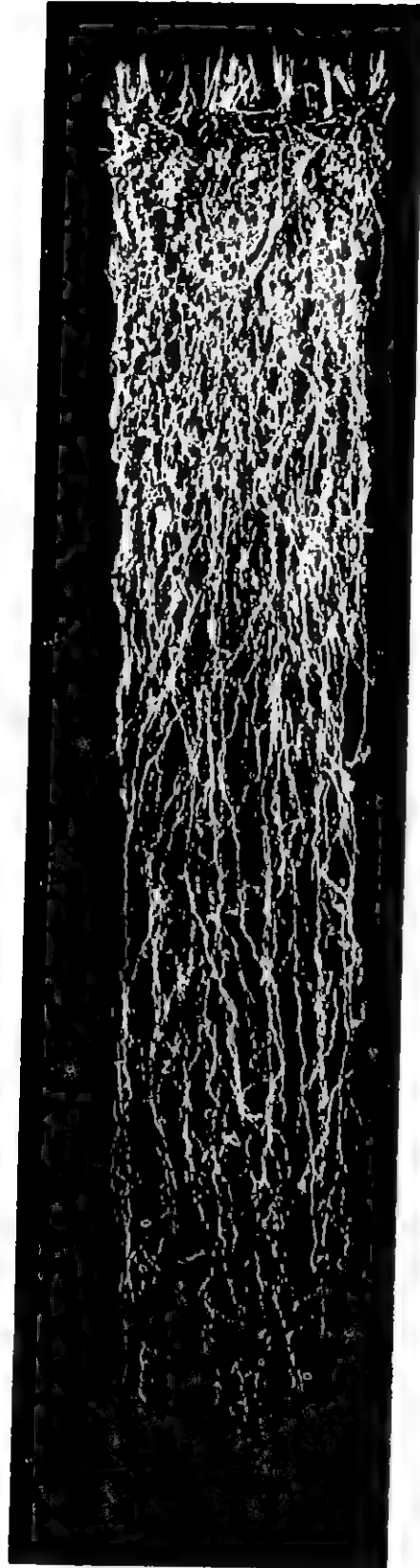
وفي دراسة مماثلة اخرى قام بها (Weaver, 1968) وجد ان وزن المادة الجافة لجذور نوعين من الحشائش هما *Bouteloua gracilis* (blue grama) و *Andropogon gerardi* (bluestem) والنامية لمدة ثلاث سنوات هي 1.6, 5.5 طن لكل ايكر على التوالي. (الايكر يساوي حوالي 4047 مترا مربعا).

ان الشكل (1-2) يبين المجموعة الجذرية لحشيشة الـ (Switchgrass) *panicum virgatum* في دراسة قام بها (Weaver and Darland, 1949) ويظهر مدى اختراق الجذور لعمق كبير في التربة.

كما ابتكر (Hell et al, 1953) وجماعته طريقة دقيقة لقياس انتشار الانظمة الجذرية في التربة وعلاقة ذلك مع الزمن. فقد وجدوا أن المجموع الجذري لنبات الذرة الصفراء *Zea mays* (corn) قد تعمق في التربة الى أكثر من ستة أمتار وكان الانتشار الافقي بقطر زاد على عشرة أمتار بعد فحصها اثناء اربعة عشر اسبوعا من الزراعة.

وتمثل الجذور أداة الوصل او الربط التي تمكن النبات من امتصاص العناصر الغذائية الضرورية من التربة والتي تعتبر المخزن الاساس لها.

ويذكر ان العلاقة الوثيقة والتاس المباشر مع كتلة التربة والتي تتطلب تأدية الجذور لوظيفتها هي السبب التي جعلت النباتات غير متحركة او غير متنقلة من مكان الى آخر. حيث ان الحركة الحرة تشكل عقبة في احداث مثل هذا التلامس بين الجذور والتربة الذي يمكن الجذور من امتصاص المغذيات من التربة وامتداد النبات باحتياجاته منها. فعملية التركيب الضوئي (Trench et al., 1969) وتثبيت النتروجين الجوي (Bergersen and Hipsley, 1970) تكون مهمة في التحصيل الاولي للمغذيات المعدنية من التربة.



شكل (1-2) النظام الجذري لـ *Panicum virgatum* Switchgrass . الحجم الفعلي (30 × 152 سم)
عن (Weaver and Darland, 1949) .

اما الحيوانات والانسان على الارض فقد اكتسبت حرية الحركة خلال مراحل تطورها والتي مكنتها من عدم تناول العناصر المعدنية الاولى مباشرة .

إن وجودنا يعتمد على العناصر الغذائية المثبتة بواسطة تلك الماكينات الكيماوية في النباتات التي تتأصل جذورها في التربة .

والتربة وسط غير متجانس معقد التركيب بمقارنتها بالاعواسط المائية مثل مياه البحار والمحيطات أو الانهار والبحيرات . ومن الصعب التحكم في التربة بصورة كاملة كوسط لاجراء التجارب خاصة وان تركيب محلول التربة الذي يمر عبر الجذور غير معروف كميته او تركيبه الدقيق فهو يختلف من جذر الى آخر كما أنه عرضة للتغيرا بين لحظة واخرى .

يتكون وسط التربة من ثلاثة أطوار . وهي الطور الصلب ويشمل الجزء المعدني والذي يشتق من الصخور والمعادن وكذلك من المادة العضوية والتي قد تكون مختلفة في درجة تحللها . والطور السائل ويشمل محلول التربة المكون من الماء والاملاح الذائبة فيه . أما الطور الغازي فهو هواء التربة والذي يشغل المسافات البينية والشقوق أو الشقوق المتواجدة بين حبيبات التربة الصلبة وغير المملوءة بالماء .

تمتص الجذور الماء والمغذيات وتؤثر الكائنات الحية الدقيقة على البيئة المحيطة بالجذور . كما أن CO_2 الناتج من تنفس الجذور وتنفس أحياء التربة يلعب دوراً في تغيير محلول التربة وهوائها . وبما تجدر الإشارة اليه ان هناك حركة دائمة ومستمرة للمواد بين محلول التربة والطور الصلب .

يعتبر محلول التربة أهم مصدر للمغذيات التي تمتص بواسطة جذور النباتات ، ومع ذلك فهو محلول مخفف وسرعان ما يسحب ما به من عناصر غذائية بواسطة جذور النبات ، غير ان محلول التربة يوجد في حالة اتزان مع الجزء الصلب والذي يتحرر منه العنصر ليعيد التوازن الى ما كان عليه قبل سحب الجذور لأيونات هذا العنصر .

لقد اوضح (1950 Stout and Overstreet) ان الفوسفات الذائبة في محلول التربة توجد بمحدود واحد جزء في المليون (1 Part per million = 1 ppm) .

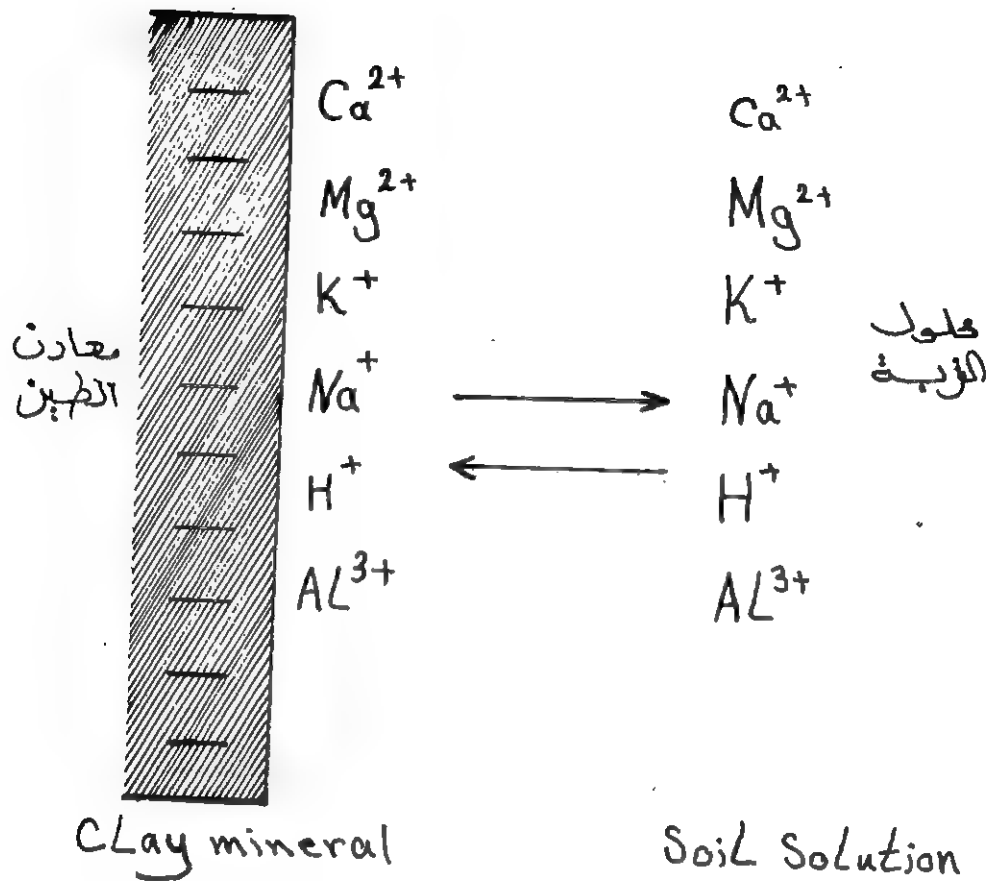
وبعد تنمية النباتات لمدة (6) أسابيع في هذا المحلول وقياس الفوسفات بداخل النبات فان تبين ان محلول التربة يجدد باستمرار وبمعنى آخر فانه يمون من جديد من قبل الجزء الصلب للتربة وبحدود عشر مرات يومياً .

إن تحرر العناصر المعدنية من الجزء الصلب للتربة وامداد محلول التربة بهذه المغذيات النباتية قد يحدث بطرق عديدة ، كذوبان المعادن نفسها (Soluble mineral) أو ذوبان المواد العضوية بعد معدنتها وتحللها (Mineralization) وانفراد عناصرها الى محلول التربة بفعل احياء التربة (Soil organisms) وقد يكون جزئياً نتيجة ذوبان الاملاح المعدنية ذاتها (Soluble salt minerals) او نتيجة لعمليات التبادل (Exchangeable processes) والتي تعتبر الجهاز الرئيسي لمحلول التربة بالعناصر المعدنية والتي تكون ممدصة (adsorbed) على سطوح غرويات التربة (التربة والدبال) ، وأهم العناصر الممدصة هي :

(H, Al, Ca, Mg, K and Na) والتي تمسك بواسطة الشحنة السالبة الموجودة على سطوح معادن الطين والمادة العضوية نفسها . إن الكميات المتبادلة تختلف بطبيعة الحال باختلاف الترب والعوامل البيئية والمناخية السائدة في المنطقة ، كما تتوقف على درجة تفاعل التربة (pH) وشحنة الكاتيون وتركيزه ونصف قطره المائي (Hydration water) كما تتوقف على نوع النبات النامي وعمره . فالنباتات البقولية تمتلك سعة تبادل كاتيوني اعلى من النباتات النجيلية وهي اعلى للنبات الحديث العمر من النبات المتقدم في السن . ويظهر أن أكثر الأنيونات تواجداً في محلول التربة هي النترات ، كما توجد ايضاً الفوسفات ، الكبريتات ، الكلوريدات ، البورات ، المولبدات وغيرها .

أما الكاتيونات الرئيسية المتواجدة في محلول التربة فهي البوتاسيوم ، الكالسيوم والمغنيسيوم وفي ترب المناطق الجافة وشبه الجافة يسود عنصر الصوديوم . أما في ترب المناطق الحامضية فيسود الهيدروجين والالمونيوم وقد يصل تركيز المنغنيز الى الحدود السامة في الترب الشديدة الحامضية كذلك .

هذا ويحدث دائماً تبادل بين الكاتيونات الموجودة في محلول التربة وبين الكاتيونات على سطوح الغرويات كما يتبين ذلك من الشكل (2-2) .



شكل (2-2) عملية التبادل بين كاتيونات محلول التربة وكاتيونات الطين .
عن : (Epstein, 1972)

وهكذا يظهر ان التربة عبارة عن نظام (صلب ، سائل وغاز) ذو تركيب فيزيائي وكيميائي معقد جداً . وهي وسط لنمو النباتات وعلاوة على ذلك فان للاحياء المجهرية التي تعيش في التربة تأثير كبير على خواصها .
Barber, 1968; Burges and Raw, 1967; Cilmour and Allen, 1965; Rovira, 1965).

ويظهر ان احياء التربة المجهرية تعيش في الغشاء المائي المحيط بجيبات الجزء الصلب او المحيط بالجذور ، ولذلك فان النشاط الميكروبي يتأثر بدرجة كبيرة بالمستوى الرطوبي للتربة . كما أن لجذور النباتات نفسها تأثير هام نتيجة لتوليدها السكريات والاحماض الامينية والتي تجهز الاحياء بالمواد الضرورية لنشاطها . (Rovira, 1969)

ولذلك نجد ان جذور النباتات محاطة بغلاف كثيف من هذه الاحياء المجهرية (Norman, 1961), (Parkinson, 1967), (Gray, 1967), (Starkey, 1958). ولاشك ان لاحياء التربة دور كبير في تغيير الخواص

الكيميائية والفيزيائية والحيوية للتربة وهذا التأثير يتوقف كذلك على نوع هذه الاحياء وكذلك حسب نوع التربة والظروف البيئية ودرجة تفاعل التربة والدورات الزراعية الخ .

وعموماً يمكن القول ان البكتريا تحيط غالباً بالجذور اما الفطريات فهي توجد في كل التربة وهي تحترق الجذور عن طريق الهيفات الخاصة بها (Hyphae) وهذه تكون على درجة كبيرة من الاهمية خاصة بالنسبة للتربة الرملية حيث تعمل على تماسك حبيباتها Aggregate ، وتجعلها اكثر كفاءة لمسك الماء وتبادل الغازات ، وكما في حالة البكتريا فان الفطريات تشارك في تحليل البقايا النباتية سواء على سطح التربة او داخل التربة نفسها .

إن كثيراً من البكتريا والفطريات تعيش معيشة تكافلية (Symbiosis) مع جذور النباتات كما هو الحال في حالة بكتريا الرايزوبيوم (Rhizobium bacteria) والتي تقوم بعملية تثبيت النتروجين الجوي Atmospheric nitrogen fixation كما ان بكتريا الازوسبيريلم Azospirillum التي تتواجد في تربة المناطق الاستوائية بشكل واسع تعيش على جذور الحشائش وبعض المحاصيل النجيلية الاخرى (Graminaceous) لقدرتها على تثبيت النتروجين الجوي .

كما ان الفطريات مثل المايكورايذا (Mycorrhiza) ترفع كفاءة النباتات في امتصاص عنصر الفسفور . علاوة على الاحياء السابقة فان البكتريا الحرة المعيشة (Free-Living bacteria) مثل الازوتوباكتريا والكلستريديوم (Azotobacter and Clostridium) والطحالب الخضراء المزرقة (Blue green algae) والـ (Anabaena azoll) لها القدرة كذلك على تثبيت النتروجين الجوي (FAO, 1984) .

3.2 - العوامل التي تؤثر على جاهزية العناصر الغذائية في التربة وامتصاصها من قبل النبات

Factors influencing the availability of nutrients in soil and their absorption by plant roots.

هناك عوامل كثيرة تؤثر على جاهزية العناصر الغذائية في التربة وامتصاصها من محلول التربة بواسطة جذور النبات والتي تعتبر الاكثر نشاطاً وأهمية من باقي أعضاء النبات الاخرى . وسوف نتناول فيما يلي باختصار أهم هذه العوامل

وبإمكان القارئ الكريم التوسع والبحث عن التفاصيل بالرجوع الى أهم المصادر والتي ننصح بها في هذا الخصوص والموجودة في نهاية هذا الكتاب .

أ - درجة تفاعل التربة (pH)

يعتبر الـ pH من أهم العوامل التي تؤثر في جاهزية العناصر الغذائية في التربة فعنصر الفسفور مثلاً يترسب تحت الظروف الحامضية على هيئة فوسفات الحديد والالمنيوم حيث أن الـ pH الحامضي (زيادة تركيز ايونات الهيدروجين في وسط نمو النبات) يزيد من تحلل معادن الطين وبالتالي يؤدي الى زيادة انفراد الالمنيوم والحديد والتي ترتبط مع الفوسفات مكونة $FePO_4$ ، $AlPO_4$ وهذه صور معقدة التركيب قليلة الذوبان وغير جاهزة (non available) وبالتالي يصعب على النباتات امتصاصها والاستفادة منها . اما تحت الظروف القاعدية وخاصة الترب المحتوية على كميات عالية من $CaCO_3$ كما هو الحال في الترب الجيرية (Calcareous soils) الامر الذي يؤدي الى رفع pH التربة (عادة أكثر من 8.2) فهنا تترسب الفوسفات على صورة فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ وهي ايضاً صورة معقدة التركيب وغير جاهزة للنبات .

وما تجدر الاشارة اليه أن الصورة الاحادية للفوسفات $H_2PO_4^-$ تكون أكثر جاهزية في الـ pH الحامضي في حين أن الصورة الثنائية التكافؤ HPO_4^{2-} تكون أكثر جاهزية في الـ pH القاعدي وعند pH 7 يتساوى تواجد هاتين الصورتين .

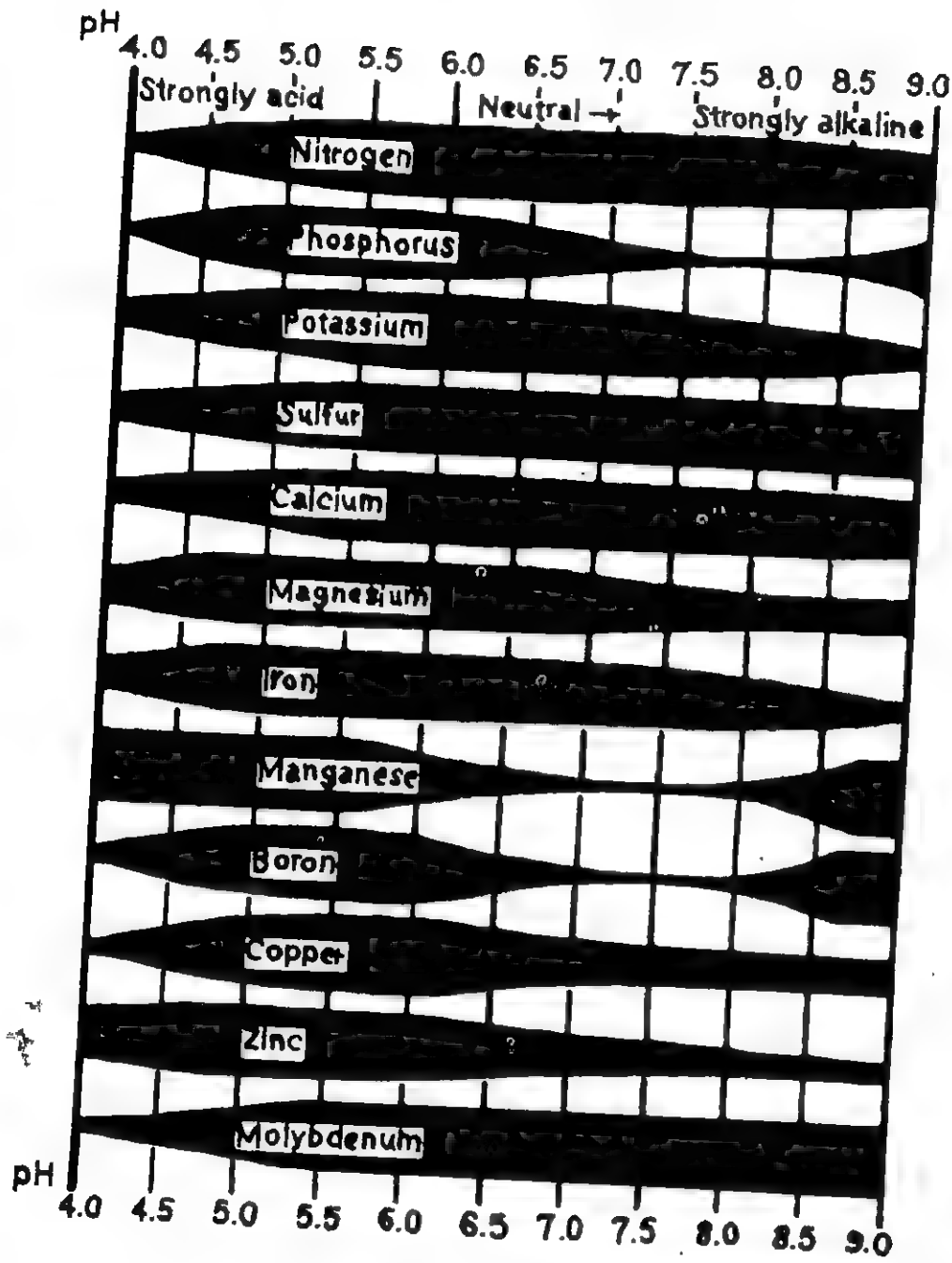
كما أن النترات تمتص بدرجة أكثر تحت الظروف الحامضية لقلة تواجد أيونات الهيدروكسيل وبالتالي قلة المنافسة (Antagonism) أو التداخل (Interaction) بينها وبين النترات في حين أن الامونيوم تمتص بكفاءة أفضل من النترات تحت الظروف القاعدية لقلة المنافسة بينها وبين أيونات الهيدروجين التي توجد بتركيز أقل في مثل هذه الظروف وعند pH 6.8 يتساوى امتصاص النترات والامونيوم من قبل النبات .

وهذا مهم جداً من الناحية التطبيقية لاضافة الاسمدة فبالنسبة لظروف العراق واذا تعذر وجود السوبرفوسفات الثلاثي فيفضل اضافة سماد (DCP) Dicalcium phosphate $(CaHPO_4 \cdot 2H_2O)$.

أما بالنسبة للترب الحامضية فيستحسن إضافة الـ (MCP) (Monocalcium phosphate) $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ كما يفضل بالنسبة للترب العراقية إضافة الاسمدة النتروجينية الحاوية على النتروجين في صورة الامونيوم في حين في الترب الحامضية يفضل إضافة الاسمدة النتروجينية على صورة النترات .

وبصورة عامة فإن جاهزية العناصر الغذائية الصغرى (الحديد ، النحاس ، الزنك ، المنغنيز والبورون) تزداد بانخفاض درجة تفاعل التربة في حين أن عنصر المولبدنم تزداد جاهزيته بارتفاع درجات الـ pH أي كلما أتعجنا نحو القاعدية حيث تحل في هذه الحالة مجاميع الهيدروكسيل محل المولبدات على سطوح الامدصاص وتنفرد المولبدات الى محلول التربة وتصبح أكثر جاهزية . وبوجه عام فإن العناصر الغذائية تكون أكثر جاهزية حول نقطة التعادل أي ما بين 6.5 pH الى 7.5 كما يوضح ذلك من الشكل (2-3) وما تجدر الإشارة اليه أن عملية تثبيت النتروجين الجوي (Atmospheric nitrogen Fixation) بواسطة احياء التربة (Soil micro-organisms) سواء كانت هذه الأحياء حرة المعيشة (Free living bacteria) مثل بكتريا الازوتوباكتر (Azotobacter) أو الكلستريديوم (Clostridium) أو البكتريا التعايشية (التكافلية) (Symbiotic) والتابعة للرايزوبيوم تفضل الظروف المتعادلة وهذا يعني ان كفاءتها في عملية التثبيت تزداد في مثل هذه الظروف . كما وجد ان عملية تحول النترات الى غاز النتروجين والذي يفقد الى الجو بواسطة عملية الـ (Denitrification) يتوقف عملها تماماً إذا انخفض الـ pH عن 4.5 .

هذا ويقدر الباحثون الفقد من النتروجين بهذه العملية من 10-40% من النتروجين المضاف كسماد . هذه العملية تحدث في الترب الغدقة (Water logged soils) اللاهوائية (anaerobic) أي في الترب ذات المحتوى العالي من الرطوبة ، لذا فنبات الرز الذي يوجد في أغلب مراحل نموه مغموراً بالمياه يعاني فقد النتروجين بصورة النترات بعملية (Denitrification) أو نتيجة الفقد بالغسل لذا يفضل إضافة النتروجين في صورة الامونيوم حيث ان النترات تكون سهلة الغسل (Leaching) من مقد التربة لأنها محملة بأيون . والمعروف أن معادن الطين تكون ايضاً محملة بشحنة سالبة ولذا يحدث تنافر وتغسل النترات الى الأعماق بعيداً عن منطقة جذور النبات .



شكل (2-3) العلاقة بين تفاعل التربة (pH) وجاهزية العناصر الغذائية (Mengel and Kirkby, 1982)

كما ان انخفاض الـ pH يزيد من عملية التجوية (Weathering) للمعادن ويؤدي الى تحرر ايونات مختلفة مثل Al^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^{+} وتكون قابلية ذوبان الاملاح مثل الكربونات، الفوسفات والكبريتات بدرجة أكثر تحت الظروف الحامضية. إن امتصاص الألمنيوم بواسطة معادن الطين يقل في الظروف الحامضية الامر الذي قد يزيد من تركيزه في محلول التربة لدرجة السمية

بالنسبة للنباتات وأيضاً قد تحدث سمية للمغنيز في مثل هذه الظروف والذي يكون مصححاً غالباً بنقص عنصر الحديد . (Lathwell and Peech 1964) كما ان نقص الحديد قد يحدث في الترب ذات المحتوى العالي من الجير مما يسبب اصفراراً أو شحوباً للنبات ولذلك يسمى هذا الاصفرار بالشحوب اليخضوري الكلسي (Limestone chlorosis) . وما يجدر ذكره ان خلايا الاغشية النباتية تضعف وتصبح أكثر نفاذية عند المستويات المنخفضة من الـ pH (اقل من 3) مما يؤدي الى خروج ايونات العناصر الغذائية وسحبها الى خارج النبات اي الى محلول التربة ويطلق على هذه العملية لسحب الكاتيونات وخاصة عنصر البوتاسيوم (Depletion) وهذا يعني ان صافي معدل الامتصاص من عنصر البوتاسيوم يقل تحت الظروف الحامضية (محصلة امتصاص البوتاسيوم = $K = K_{\text{Influx}} - K_{\text{Efflux}}$ الداخل - الخارج)

$$\text{(Rate of K. absorption = K. Influx - K. Efflux)}$$

ب - المادة العضوية Organic matter

إن للمادة العضوية تأثيراً مباشراً على درجة تفاعل التربة حيث ينتج عن تحللها احماض عضوية والتي تؤدي الى خفض الـ pH . بالاضافة الى ذلك فإن المادة العضوية تعمل على تحسين خواص التربة الكيميائية والفيزيائية والبيولوجية ، كما انها مصدر جيد للعديد من العناصر الغذائية مثل النتروجين والفسفور والكبريت . ويعتمد هذا على المصدر النباتي للمخلفات النباتية في الحقل . فمخلفات النباتات البقولية تكون غنية بعنصر النتروجين في حين ان قش وجذور محاصيل الحبوب تكون فقيرة بهذا العنصر وحتى ان تحللها بفعل احياء التربة يؤدي الى استنزاف نيتروجين التربة ولذلك ينصح دائماً في حالة اضافة مخلفات النباتات النجيلية اضافة 1 كغم 100/N كغم من القش (Mengel, 1968) .

تميل المادة العضوية الى تكوين مركبات مغلبيه (Chelate compounds) مع كاتيونات العناصر وهذا يكون على درجة كبيرة من الاهمية خاصة بالنسبة للعناصر الغذائية الصغرى حيث تمسك بقوة في مثل هذه المركبات وتحمى من عمليات الترسيب وذلك بتكوينها لمركبات معقدة في التربة في حالة انفرادها الى محلول التربة في حالة غياب المواد العضوية . إن المركبات المغلبيه عبارة عن مركبات عضوية تمسك العنصر وتغلفه من اكثر من جهة وتمنع من انفراده الى محلول التربة . ومن امثلة ذلك الحديد المخلبي ، والتي منها (Iron-ethylene diamine) Fe-EDTA (tetra acetic acid) .

إن لجذور النبات القدرة على امتصاص العناصر الغذائية على هذه الصورة وقد يحدث لها انحلال في داخل النبات وهناك آراء منها أن المركب الخليي ينحل على الجذور ويمتص النبات العنصر الغذائي فقط (Mengel 1968).
إن مشاركة المادة العضوية مع الكالسيوم في تكوين البناء الحبيبي (Aggregate structure) والذي يعتبر أفضل بناء للتربة ويعمل على تحسين الخواص الفيزيائية والبيولوجية للتربة مما ينعكس بالإيجاب على تحسين العلاقات المائية والهوائية للتربة الرملية والطينية ويزيد من نشاط احياء التربة ويرفع كفاءة الترب الرملية للحفاظ على ما بها من ماء وتخليص الترب الطينية الثقيلة من الماء الزائد. إن الترب الشديدة الحامضية ذات المحتوى العالي من المادة العضوية تكون فقيرة بعناصر الـ Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} حيث تستبدل من مواقع تبادلها على سطوح الطين بواسطة الهيدروجين وانفرادها الى محلول التربة وبسبب الامطار الغزيرة السائدة في تلك المناطق تفقد هذه العناصر بعملية الغسل وتنزل الى الاعماق بعيدا عن متناول جذور النباتات. إن ميل المادة العضوية لتكوين مركبات مخلبية مع كل من Ca^{2+} و Al يقلل من فرصة تكوين مركبات معقدة مع الفوسفات مما يزيد من جاهزية عنصر الفسفور في الترب.

ج - كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$
إن لمحتوى التربة من كاربونات الكالسيوم تأثير مباشر على درجة تفاعل التربة ، بالإضافة الى ذلك فإن الكالسيوم يشترك مع المادة العضوية في تكوين البناء الحبيبي كما سبق وأن أشرنا الى ذلك وزيادة الكالسيوم الناجم عن زيادة كاربونات الكالسيوم يؤدي الى ترسيب عنصر الفسفور على صورة فوسفات الكالسيوم الثلاثية $Ca_3(PO_4)_2$ وبالتالي فهو يقلل من جاهزية عنصر الفسفور في التربة. كما ان ميل الكالسيوم لتكوين مركبات مخلبية مع المادة العضوية في التربة قد يكون سببا لظهور نقص عنصر الحديد حيث انه بإمكان الكالسيوم الاحلال مكان الحديد حتى في المركبات المخلبية الحاوية على الحديد مما يؤدي الى تحرير الحديد وانفراده الى محلول التربة والذي سرعان ما يتحول الى مركب معقد من هيدروكسيد الحديد $Fe(OH)_3$ غير الصالح للتغذية النباتية وان الشحوب او الاصفرار الذي يظهر في الترب الحاوية على كميات عالية من $CaCO_3$ والذي يسمى بالشحوب اليخضوري الكلسي سببه نقص عنصري الحديد والفسفور ولكن بالدرجة الاساس يعزى الى النقص بعنصر الحديد (Mengel and Kirkby 1982).

S — نوع التربة

إن لنوع التربة تأثير كبير على محتواها من العناصر الغذائية وجاهزيتها فنوع التربة يتحكم الى حد كبير في محتواها من الماء والهواء وبالتالي في عمليات الاكسدة والاختزال التي تسود في تلك الترب (Redox potential) فتحت الظروف الهوائية تسود عمليات الاكسدة وهنا يكون الجهد التأكسدي الاختزالي موجبا وهذا يكون له تأثير سلبي على جاهزية عنصري الحديد والمنغنيز والذان يتحولان في هذه الحالة الى الحديد الثلاثي التكافؤ والمنغنيز الرباعي او السداسي التكافؤ والمعروف أن عنصري الحديد والمنغنيز يمتصان في صورة الحديد والمنغنيز الثنائي التكافؤ .

كذلك يزداد تحت الظروف الهوائية تحول الامونيا الى نترات بعملية النترجة (Nitrification) بواسطة بكتيريا النتروزوموناس (nitrosomonas) والنتروباكتر (nitrobacter) على التوالي . وأن النترات المتكونة بهذه العملية قد تفقد بعملية الغسل (Leaching) عند الري او بواسطة عملية الـ (Denitrification) .

اما في الظروف اللاهوائية (anaerobic conditions) فيكون الجهد التأكسدي الاختزالي سالبا وتسود عمليات الاختزال وهنا تزداد جاهزية عنصري الحديد والمنغنيز حيث يظلان في صورتَي الحديد والمنغنيز المختزل أي في الصورة الثنائية التكافؤ وهي الصورة الجاهزة والقابلة للامتصاص من هذين العنصرين بواسطة جذور النباتات .

غير أنه يزداد فقد النتروجين بعملية الـ (Denitrification) كما يحدث في حقول الرز حيث تتحول النترات في هذه الحالة الى النتروجين الغازي والذي يفقد الى الجو ، علاوة على ذلك فإنه في حقول الرز تفقد أيضا النترات بعملية الغسل الى اسفل بعيدا عن منطقة جذور النباتات . ومن ناحية اخرى تزداد قدرة الترب الحاوية على نسبة عالية من الطين للاحتفاظ بالماء بعكس الترب الرملية الخفيفة . كما إن سعة التبادل الكاتيوني (Cation exchange capacity) (CEC) تكون عالية للترب الطينية ومنخفضة للترب الخفيفة (يعبر عن سعة التبادل الكاتيوني بغدد المليكافئات من عناصر الكالسيوم ، المغنيسيوم ، البوتاسيوم والصوديوم لكل 100 غم من التربة) . وهذا يعني أن الترب الخفيفة ذات المحتوى العالي من الرمل تكون فقيرة بعناصر الـ Ca, Mg, K, Na .

وما تجدر الاشارة اليه انه تحت الظروف اللاهوائية قد تحدث سمية بعنصر المنغنيز مثلما يكون الحال عليه من حدوث سمية بهذا العنصر تحت الظروف الحامضية الشديدة .

هـ - احياء التربة
كما تقدم يظهر جليا مدى العلاقة بين احياء التربة ومدى توفر العناصر
الغذائية وجاهزيتها في الترب . فهي المسؤولة عن عمليتي الـ Nitrification و
Denitrification كما ان احياء التربة هي التي تقوم بعملية تثبيت النتروجين
الجوي سواء كانت حرة المعيشة أو تعايشية كما بينا ذلك سابقا .
وحاليا يمكن الاستفادة من احياء التربة مثل فطريات المايكورايزا Mycorrhiza
حيث ثبت أن لها تأثير تحفيزي على زيادة تكوين العقد البكتيرية للرايزوبيوم على
جذور النباتات البقولية وبالتالي رفع كفاءتها في عملية تثبيت النتروجين الجوي .
(FAO, 1984) .

كما اشارت الدراسات بأن حقن أو تلويث الجذور بواسطة فطريات المايكورايزا
يؤدي الى تحفيز نمو النبات وذلك بسبب زيادة معدل الامتصاص الناتج من امتصاص
الفسفور بواسطة الهيفات (جمع هيفا Hyphae) واعطائه للنبات العائل
(Host plant) (Sanders and Tinker, 1973) . وكذلك يرجع اليها الفضل في
تهدم والحلال المادة العضوية بعملية المعدنة (Mineralization) وتحرير العناصر
الغذائية الجاهزة للامتصاص الى محلول التربة .

كما ان بكتريا الكبريت هي المسؤولة عن اكسدة الكبريت المعدني الى صورة
الكبريتات والتي تمتص من قبل جذور النبات على هذه الصورة . كما إن اكسدة
المنغنيز الشائى التكافؤ الى المنغنيز الرباعي او السداسي التكافؤ يتم عن طريق هذه
الاحياء وما عملية تبخير ترب البيوت البلاستيكية كما هو الحال في مشروع
الخالص الا احدى الوسائل للتخلص من الاحياء المجهرية والتي تسبب العديد من
الامراض النباتية .

و - نوع معدن الطين السائد في التربة :
إن معادن الطين من نوع 1:1 مثل الكاولينايت (Caolinite) غير قابلة للتمدد
بالرطوبة او الانكماش بالجفاف ولذلك لا يمكن أن يثبت البوتاسيوم او الامونيوم بين
رقائقتها غير أنها تحتوي على ثمانية مجاميع من ايونات الهيدروكسيل وبالتالي تكون
قدرتها أعلى على تمسك ايونات الفوسفات مما يقلل من جاهزية عنصر الفسفور في
مثل هذه الترب والحاوية على هذا النوع من معادن الطين الثانوية . وما تجدر
ملاحظته إن القدرة على امتصاص الفسفور تزداد بزيادة الحموضة أي بانخفاض
درجة تفاعل التربة .

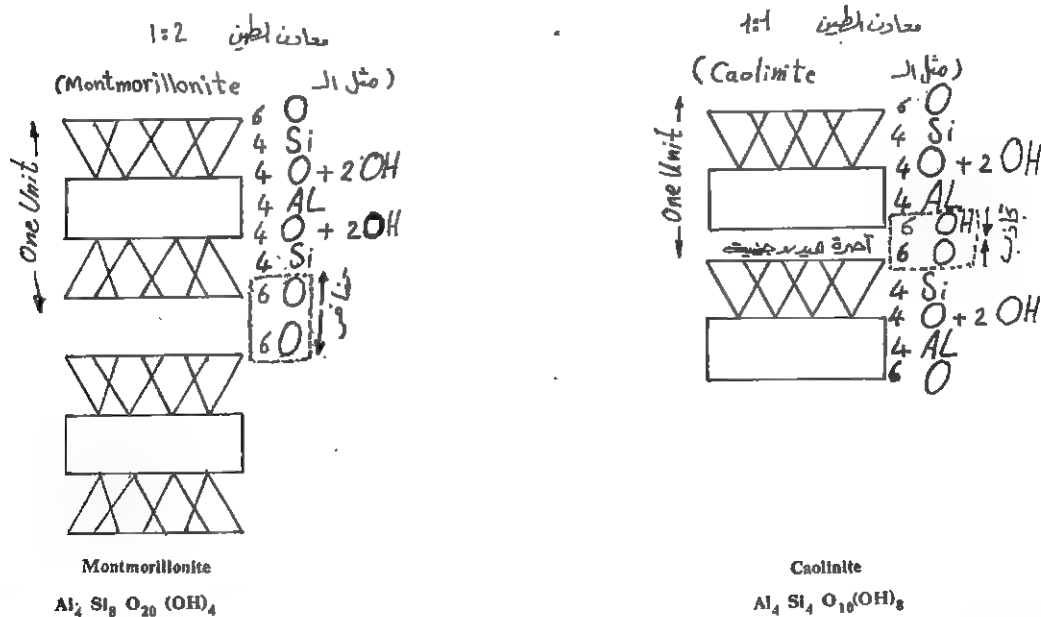
أما معادن الطين من نوع 1:2 مثل المونتموريللونايت (Montmorillonite)
والايللايت (Illite) فهذه تتمدد بالرطوبة وتنكمش بالجفاف ولذلك فهي مسؤولة عن
تثبيت البوتاسيوم والامونيوم بين وحداتها . إن عملية التثبيت هذه يجب ألا ينظر

اليها على إنها عملية ضارة بالنسبة للنبات بل هي مفيدة وتحمي الـ NH_4^+ , K^+ من الفقد بعملية الغسل (Leaching) خاصة في الترب الحامضية وعندما يكون هطول الامطار مستمرا . فالترب الحاوية على كميات عالية من هذا النوع من المعادن تعتبر مخزناً جيداً لعنصري البوتاسيوم والنيتروجين وعند الري تنفجر طبقات المعدن ويخرجان الى محلول التربة وتصبح مضررا جيدا لتغذية النباتات . وهناك دراسات قد اشارت على أن مقدار البوتاسيوم المثبت يساوي مقدار البوتاسيوم الذائب زائدا البوتاسيوم المتبادل (Mengel, 1968) .

(يقدّر البوتاسيوم الكلي في القشرة الارضية (Lithosphere) بحوالي 2.59% والبوتاسيوم المتبادل يقدر بحوالي 1-2% من قيمة البوتاسيوم الكلي ، اما البوتاسيوم الذائب فيبلغ حوالي 1-2% من مقدار البوتاسيوم المتبادل (المدص) (Mengel, 1968) .

في حين تحتوي معادن الطين 1:2 على أربع مجاميع فقط من الهيدروكسيل وبالتالي فإن قدرتها على مسك أيونات الفوسفات هي نصف قدرة معادن الطين 1:1 .

وفيما يلي رسماً مبسطاً لتركيب معادن الطين 1:1 ، 1:2 كما في الشكل (2-4) .



يلاحظ عند تكرار الطبقات المكونة للمعدن يلاحظ عند تكرار الطبقات المكونة تقابل 6OH مع 60 وبالتالي تتكون للسعدن تقابل 60 مع 60 وبالتالي رابطة هيدروجينية وهي التي تمنع تمدد الطبقات عند الري او وجود الرطوبة وتنكمش بالجفاف . وبالتالي فهذا النوع اذن فهي لا تثبت الـ NH_4^+ , K^+ يعمل على تثبيت الـ NH_4^+ , K^+ .

شكل (2-4) رسم توضيحي لتركيب معادن الطين 1:1 ، 1:2 محور عن : (Klrkbg, 1982) and (Mengel)

(Sesqueoxides)

ز - الاكاسيد نصف الثلاثية وهي عبارة عن اكاسيد الالومنيوم والحديد (Fe_2O_3 , Al_2O_3) حيث كلما زادت في التربة أدت الى تقليل جاهزية عنصر الفسفور تزداد في مثل تلك الترب الحاوية على مقادير عالية من هذه الاكاسيد امكانية تكوين فوسفات الالومنيوم والحديد وهي كما سبق ضرور معقدة التركيب غير جاهزة (unavailable) للنبات . ان التربة التي تمتلك سعة تنظيمية عالية تكون قدرتها اعلى وتعمل بكفاءة افضل على تزويد النباتات بعنصر غذائي معين اكثر من غيرها ، كما أن تركيز العنصر الغذائي والذي يحيط بالجذور بنسبة اعلى وان عملية انتقال العنصر الغذائي سواء كان ذلك بعملية الانتشار diffusion او بعملية الانسياب الكتلي mass flow اسرع مما هو عليه في حالة التربة ذات القدرة او السعة التنظيمية المنخفضة (Low Buffering capacity) .
ويمكن تعريف القدرة التنظيمية بانها حاصل قسمة الكمية Q (Quantity) على تركيز العنصر والذي يساوي تماما شدة العنصر I (Intensity) .

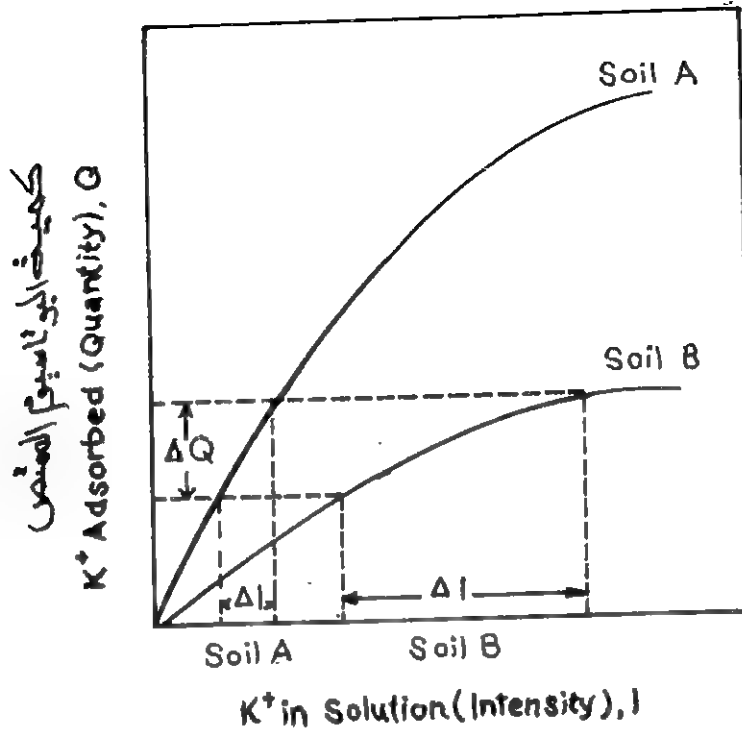
$$\text{اي ان السعة التنظيمية} = \frac{\text{كمية العنصر}}{\text{شدة العنصر}}$$

او

$$B_K = \frac{\Delta Q}{\Delta I}$$

حيث ان B_K هي السعة التنظيمية

لقد اوضح (Drew et al., 1969) و (Nye, 1968) ان تزويد النباتات عن طريق التبادل بالتاس الذي يحصل على سطح الجذر (Contact exchange) غير كاف لتزويد النباتات باحتياجاتها من العناصر الغذائية حيث وجد في نبات (*Lolium perenne*) ان 6% فقط من البوتاسيوم الكلي الذي يحتاجه هذا النبات قد زود فقط عن طريق التبادل بالتاس وهذا فإن 94% من البوتاسيوم الممتص يجب أن يأتي من المناطق الخارجة عن حدود الشعيرات الجذرية . وهذا يعني ان كمية كبيرة من عنصر البوتاسيوم قد انتقلت الى الجذور عن طريق اخر غير التبادل بالتاس وهذا يعني ان حركة العناصر في التربة لكي تأتي وتنقل من اماكن بعيدة عن منطقة الشعيرات الجذرية وحتى تصل اليها تعتبر عاملاً مهماً في جاهزية العناصر الغذائية في التربة .



تركيز البوتاسيوم في المحلول (شدة I)

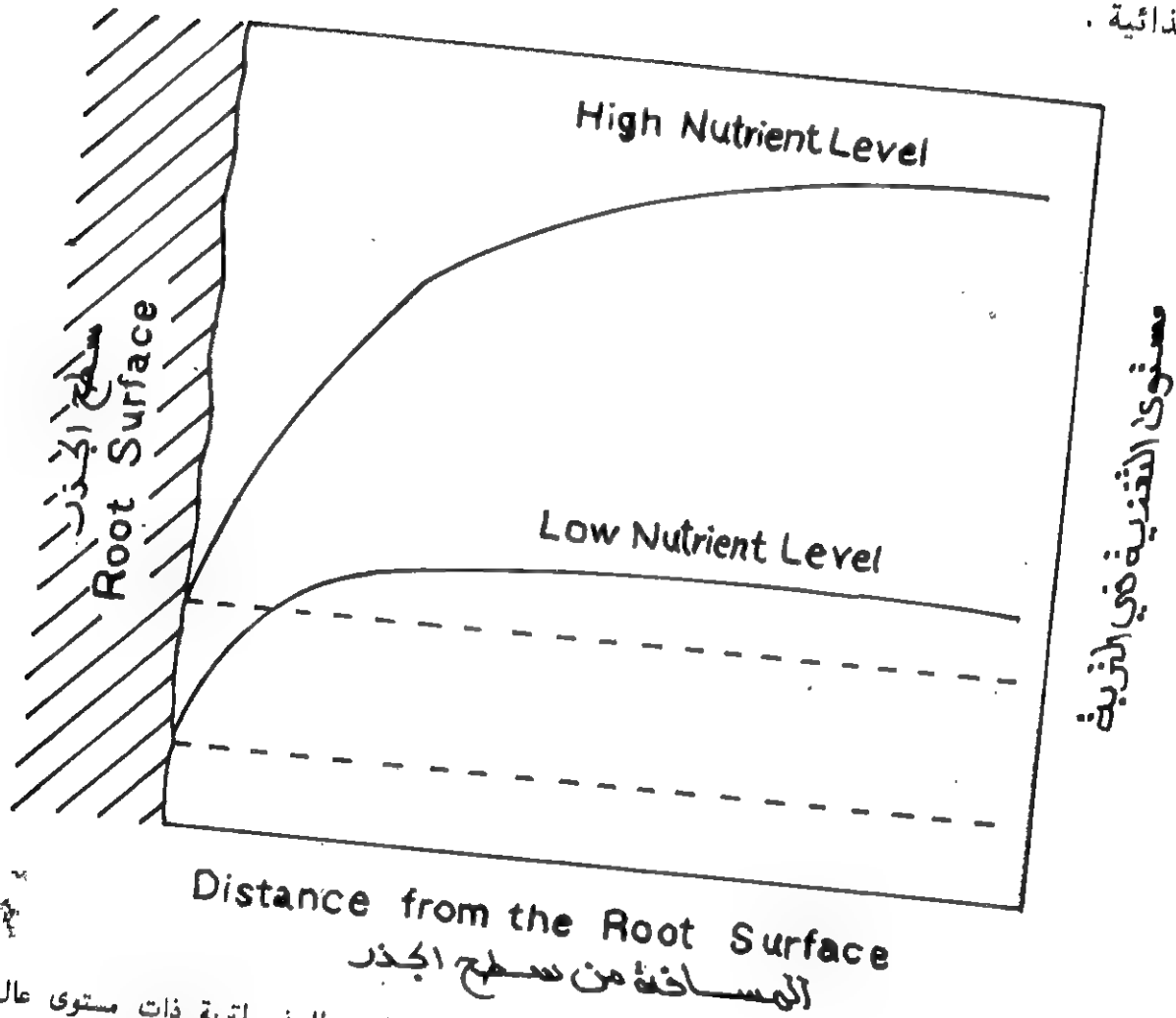
شكل (2-5) يبين العلاقة بين شدة البوتاسيوم وكمية البوتاسيوم لتربتين مختلفتين بالسعة التنظيمية (تربة A عالية، وتربة B منخفضة) (Nemeth, 1975)

ان جذور النبات التي تمتص العناصر الغذائية من التربة المتاحة تولد ما يسمى بمنطقة مصرف (Sink) تنتشر اليها العناصر الغذائية. ان استنزاف العناصر الغذائية يعتمد على الموازنة بين التجهيز لمحلل التربة من الطور الصلب (Solid, Phase) واحتياج النبات (Plant requirement). ولهذا السبب فعندما يكون الطلب عاليا للعنصر الغذائي وتركيزه في محلول التربة منخفضا، فإن الانسياب الكتلي يكون عاجزا عن تلبية احتياج النبات من هذا العنصر وهنا يلعب الانتقال للعنصر الغذائي بواسطة الانتشار الدور الرئيس.

وهذه الحالة تحدث لعنصري البوتاسيوم والفسفور اللذان يعانيان استنزافا حول منطقة الشعيرات الجذرية (Nye, 1974).

ان الاستنزاف النسبي للعناصر الغذائية يقل بازدياد المسافة عن سطح الجذر (Lewis and Quirk, 1967). وهذه العلاقة مبينة بالشكل (2-6) لنوعين من التراب احدهما ذات مستوى عال من العناصر الغذائية والاخرى ذات مستوى منخفض. ويتضح من الشكل ان التربة ذات المستوى العالي من العناصر الغذائية ذات منحني تركيز حاد ولهذا فإن معدل الانتشار الى جذور النبات يكون اعلى مما

هو عليه الحال في حالة المستوى المنخفض . ان المستوى العالي من العناصر الغذائية في التربة يعطي ايضا تركيزا عاليا على سطوح الجذور والذي يؤدي بدوره الى حدوث امتصاص سريع مقارنة بالتربة ذات المحتوى الواطىء من العناصر الغذائية .



شكل (2-6) استنزاف العنصر الغذائي عند المنطقة المجاورة والمباشرة للجذر لتربة ذات مستوى عال وواطىء من العنصر الغذائي في كتلتها . مأخوذ من (Mengel and Kirkby, 1982).

ان الزيادة او النقص في التركيز (شدة العنصر) تكون مهمة خاصة عندما تكون عملية الانتشار وليس الانسياب الكتلي هي العملية الرئيسية التي يتم بواسطتها انتقال العناصر الغذائية الى منطقة جذور النبات . وطبقا لما اوضحه (Barber et al., 1963) فإن جزءا صغيرا من الكمية الكلية المطلوبة من البوتاسيوم والفسفور تنقل او تجهز بواسطة الانسياب الكتلي ولهذا فإن الجزء الاعظم من هذين العنصرين يجب ان تنقل بعملية الانتشار الى جذور النبات اذا افترضنا ان الامتصاص الحر وليس النشاط هو السائد هنا .

وعندما يكون النتح قليلا فيؤدي ذلك الى ضعف عملية الانتشار اما في ظروف النتح العالي فإن كميات كبيرة من الماء تنتقل الى الجذور حاملة معها موادا ذائبة فيه ومنها ايونات العناصر الغذائية وهذه المواد الذائبة اذا لم تمتص بسرعة فانها تتجمع في المنطقة المجاورة للجذور وهذا يحدث بصورة خاصة لعنصر الكالسيوم .

إن معدل حركة العنصر في التربة يعتمد بدرجة كبيرة على المحتوى الرطوبي للتربة بغض النظر عن الطريقة التي يتحرك بواسطتها العنصر سواء بواسطة الانسياب الكتلي او بواسطة الانتشار .

لقد لاحظ (1967 Graham-Bryce) أن التربة التي تحتوي على ماء بنسبة 23% تمتلك معامل الانتشار يعادل 10^{-7} سم²/ث للروبيديوم . وعندما كان محتوى نفس التربة من الماء 10% فان معامل الانتشار انخفض واصبح 5×10^{-8} سم²/ث .

لقد لوحظ ان الترب الجافة قد انعدم فيها انتشار الايون (Rowell et al., 1967) ولهذا فان حركة العناصر الغذائية البطيئة في الظروف الجافة هي العامل المحدد لنمو النبات وليس التأثير المباشر للماء ولهذا السبب ايضا فانه تحت الظروف الجافة فغالبا ما يظهر نقص عنصري الكالسيوم والبورون وكذلك في حالة انخفاض عملية النتح والذي يحدث لها عملية غرقلة عند ارتفاع الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط حيث ان هذين العنصرين يتصان بطريقة سلبية مع تيار النتح بواسطة عملية الانتشار البسيط .

ح - النبات

تختلف النباتات من حيث طبيعة تكوين مجموعتها الجذرية كما انها تختلف في مقدرتها على التعمق والتغلغل في مقد التربة (Profile) . وعموما يمكن القول ان الجذور ذات التمدد الجيد والكثافة الكبيرة يكون لها القدرة الكبيرة على امتصاص العناصر الغذائية .

وفي دراسة قام بها (1974 Jung and Barber) وجدا ان هناك علاقة وثيقة بين امتصاص الفسفور للنبات الواحد وبين طول الجذر ، وهذه العلاقة تكون اكثر وضوحا عندما يكون تركيز الفسفور في محلول التربة او في المحلول المغذي منخفضا ولهذا فان كل العمليات التي تؤثر في نمو الجذور وعملياته الحيوية لها تأثير غير مباشر في امتصاص وجاهزية العناصر الغذائية في التربة .

(4) الضوء
وهو ضروري لعملية التركيب الضوئي وتحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية
نتيجة عملية الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) وتكوين الطاقة بشكل
Adenosine triphosphate (ATP). والمعروف ان الامتصاص الحيوي او
الفعال يحتاج الى طاقة .

(5) الرطوبة النسبية
كلما زادت الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط قلت عملية النتح وبالتالي قل
امتصاص العناصر الغذائية وخاصة تلك التي تمتص عن طريق تيار النتح (مثل
عنصري الكالسيوم والبورون) المتعلق بالامتصاص الحر او السلي او الفيزيائي
passive absorption والذي يتم عن طريق الانسياب الكتلي mass flow او
الانتشار diffusion أو غيرها من الطرق .

Nutrient solutions

4.2 - المحاليل المغذية

إن التحكم الدقيق لوسط نمو النبات واجب ضروري ومهم في دراسات تغذية
النبات والفسلجة ، فقد اتجه العلماء الى البيئات الصناعية التي تمكنهم من التحكم
وبدقة في كمية ونوعية المغذيات المراد تنمية النبات عليها .

ومنذ ان طرح العالم الالماني ليبك آرائه في عام 1840 حول النظرية المعدنية
"Mineral theory" وانه بتحليل رماد العينة النباتية فإن كل العناصر
الموجودة في هذا الرماد تكون ضرورية للنبات ، فقد انكب العلماء والباحثون على
دراسة التركيب المغذي غير العضوي للنبات وللتأكد من صحة آراء ليبك للكشف
عن العناصر الغذائية الضرورية للنبات . وحيث ان التربة كما سبق وسط غير
متجانس التركيب وانه للكشف عن أهمية عنصر غذائي معين للنبات فانه يجب
تنمية النبات في بيئتين او وسطين احدهما تحتوي على جميع العناصر الغذائية
والاخرى تحتوي على جميع العناصر الغذائية ما عدا العنصر المراد دراسته . وإن
إزالة العنصر الغذائي المعين من التربة ليس بالأمر السهل حيث قد يضطر الى
استخدام طرق كيميائية وميكانيكية خاصة ، الامر الذي قد يؤدي الى تغير بناء
التربة وتغيير في خواصها ، وعليه فانه لا يمكن الجزم مطلقا على ان كل التغيرات
التي طرأت على النبات تعود فقط الى نقص هذا العنصر حيث ان التغيير في
خواص التربة قد يساهم في احداث مثل هذه التغيرات .

هذا وقد وجد العلماء ضالتهم في المحاليل المغذية عندما استعملت لأول مرة من قبل العالمين الالمانيين Sachs and Knop في عام 1865 . والجدول (1-2) يبين المحلول المغذي الذي ابتكره Knop عام 1865 . والشكل (2-7) يوضح النموذج لزراعة النبات في المحاليل الغذائية (Solution culture) حيث يثبت النبات بواسطة الاسفنج او القطن في الفتحة الموجودة في الاصيص حيث تكون جذور النبات مغمورة في المحلول الغذائي كما يضح الاوكسجين لتنفس الجذور وذلك بامرار تيار هوائي وفي المعتاد تكفي فقاعة واحدة في الدقيقة (بحدود 1-2 سم³ / دقيقة) . ومن الجدير ذكره انه اذا توفرت جميع العناصر الغذائية الضرورية وبقي pH المحلول المغذي عند المستوى الملائم وكان الضوء ودرجة الحرارة مناسبتين فان النبات ينمو نموا جيدا لا يقل عن احسن الترب الخصبة .

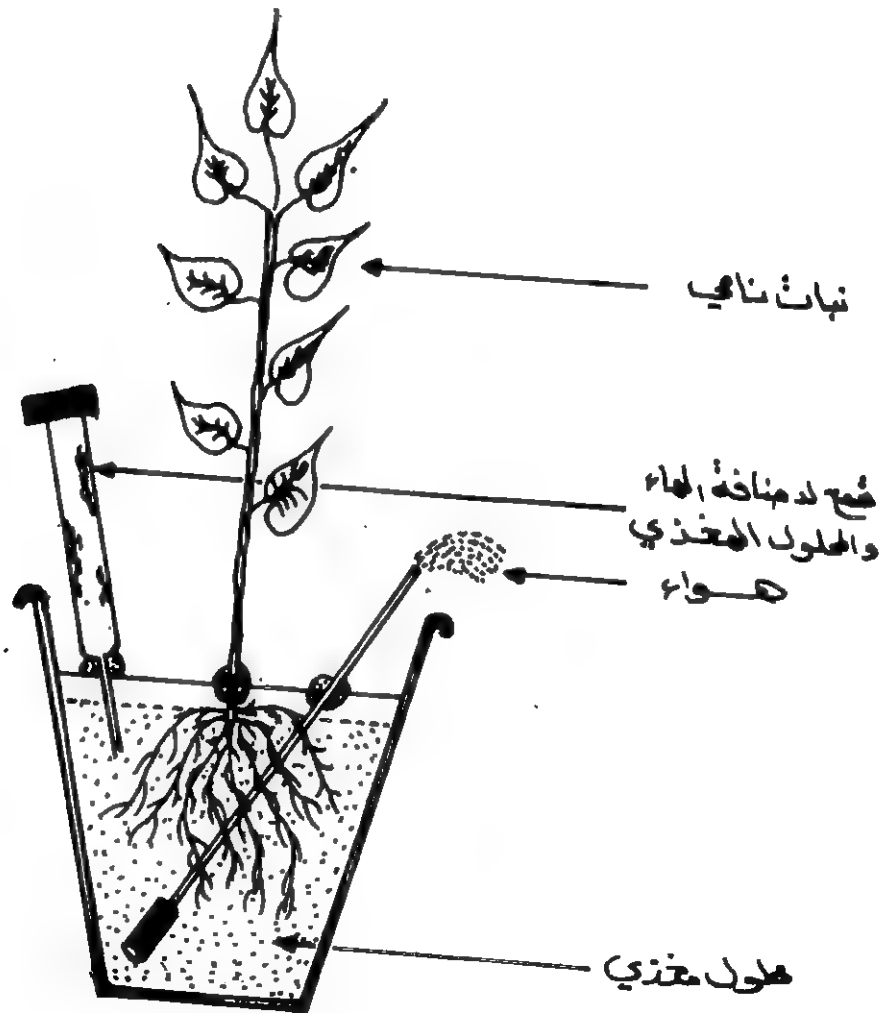
جدول (1-2) يبين المحلول المغذي المبتكر من قبل Knop 1865 عن (1972) (Epstein,

التسلسل	الملح	الكمية غم / لتر ماء مقطر	المولارية M/L
١- نترات الكالسيوم	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.8	0.003
٢- نترات البوتاسيوم	KNO_3	0.2	0.002
٣- فوسفات البوتاسيوم	KH_2PO_4	0.2	0.0015
ثنائية الهيدروجين			
٤- كبريتات المغنيسيوم	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2	0.0008
٥- كبريتات الحديدوز	$\text{Fe SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	كمية قليلة جداً	

وبما تجدر الاشارة اليه ان الطريقة الحديثة والمطورة من قبل العالمين Hoagland and Arnon عام 1950 لزراعة النباتات في المحاليل المغذية لم يطرأ عليها تغير كبير من ناحية المبدأ . وإن كل ماجرى عليها هو أن المواد الكيميائية أصبحت أكثر نقاوة كما أمكن السيطرة بدقة على عدم تلوث الاجهزة والمعدات المستخدمة في مثل هذا النوع من الزراعة .

إن التطور في النواحي الكيميائية والميكانيكية الخاصة بطرق المزارع الغذائية جعلت منها اداة قوية في الابحاث المتصلة في نواحي عديدة في مجال تغذية وفسلجة

النبات والتمثيل الحيوي للعناصر . وباستعمال طرق خاصة في تنقية المواد الكيميائية يمكن التحكم في بعض العناصر التي توجد كشوائب ليصبح تركيزها واحد جزء بالبليون أو اقل ، كما أنه يمكن التحكم في النتروجين الذائب في المحلول وذلك بضخ مخاليط معلومة من الاوكسجين والنتروجين بدلاً من ضخ الهواء الجوي ، كما إنه يمكن اضافة بعض المواد الاخرى بتركيز محددة مثل مبيدات الحشائش *Herbicides* أو الفطريات *Fungicides* او الحشرات *Insecticides* . كما اصبح بالامكان أيضاً نقل النباتات في اوقات محددة وبدقة من محلول الى آخر تختلف في تركيزها الكيميائي او ضغطها الازموزي او التركيز الناتج من النظائر المشعة .



شكل (2-7) يبين طريقة الزراعة في المحلول المغذي
Solution culture (= Hydroponic culture)

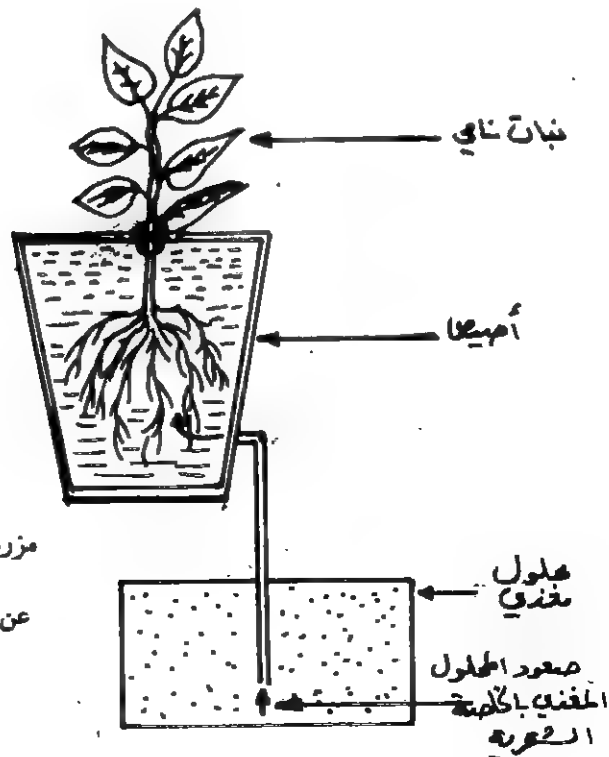
الشكل مأخوذ من : (Epstein , 1972) .

[illegible]

شكل (8-2)

طريقة الزراعة المائية بواسطة تنقيط المحلول المغذي

عن (Hewitt, 1966)



شكل (2-9)

مزراعة مائية وصعود المحلول المغذي بالخاصة الشعرية

عن : (Hewitt, 1966)

وفي السنوات الاخيرة حدث تطور كبير في استعمال المزارع الغذائية في الزراعة حيث قد يستخدم محلول غذائي جاري في انابيب حيث يدخل المحلول المغذي من طرف لهذه الانابيب ويخرج المحلول من الطرف الآخر لهذه الانابيب حيث يضح مرة أخرى بواسطة مضخة لاعادته الى الخزان الاصلي المستخدم لتزويد النباتات بالمحلول المغذي من جديد . والانابيب التي يجري فيها المحلول المغذي مزودة بفتحات لوضع النباتات المراد زراعتها عليها . وفي هذه الطريقة يمكن بقاء تركيز المحلول المغذي وضغطه الازموزي ودرجة تفاعله (pH) بصورة ثابتة طول فترة اجراء التجربة وهذه من المتطلبات الرئيسية لمثل هذا النوع من الزراعة .

وما تجدر الاشارة اليه أن اليابانيين قد صنعوا احواضاً كبيرة جداً لوضع المحاليل الغذائية فيها وزبوا فيها الاسماك اما السطح العلوي للأحواض فقد استغل لتنمية النباتات بطريقة المزارع الغذائية .

جدول (2-2) يبين المحلول المغذي رقم (1) الذي طوره هوكلاند وارنون عام 1950

الملح	سم ³ في لتر من المحلول المغذي
1 - فوسفات البوتاسيوم ثنائية الهيدروجين	1 MKH ₂ PO ₄
2 - نترات البوتاسيوم	5 M KNO ₃
3 - نترات الكالسيوم	5 M Ca (NO ₃) ₂ .4H ₂ O
4 - كبريتات المغنيسيوم	2 M MgSO ₄ .7H ₂ O

هذا وقد طور Hoagland and Arnon عام 1950 بتطوير محلولين غذائيين والتي تعرف حالياً لدى العاملين في مجال تغذية النبات باسم محلول هوكلاند او محاليل التجهيز

Stock Solution or Hoagland solution

وهذان المحلولان مبينان في الجدولين [(2-2) ، (3-2)] على التوالي .

جدول (2-3) يبين المحلول المغذي رقم (2) الذي طوره هوكلاند وارنون عام 1950

المغذي	سم ³ في لتر من المحلول	الملح
1 M $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$		1 - فوسفات الامونيوم
6 M KNO_3		2 - نترات البوتاسيوم
4 M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		3 - نترات الكالسيوم
2 M $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$		4 - كبريتات المغنيسيوم

ويلاحظ ان المحلول رقم (2) يحتوى على النترات والامونيوم كمصدر لعنصر النتروجين في حين ان المحلول رقم (1) يحتوى فقط على النترات كمصدر للنتروجين ولكي تكون هذه المحاليل ملائمة لاجراء البحوث المتعلقة بعملية تغذية النبات أو فسلجة النبات فيجب ان يكون الماء مقطراً ونقياً bidistilled water كما يجب ان تكون الاملاح نقية وخالية من الشوائب .

ويتم تحضير محاليل التجهيز وذلك باذابة الوزن الجزيئي بالغرام في لتر من الماء المقطر اي تحضير تركيز واحد مولاري من كل منها .

اما المحلول المستخدم في عمليات الري فيؤخذ حسب تسلسل الاملاح الاربعة السابقة حجم مقداره 1 ، 5 ، 5 ، 2 سم³ ثم يكمل الجميع الى لتر واحد بواسطة الماء المقطر كما في حالة المحلول المغذي رقم (1) او يؤخذ حجم 1 ، 6 ، 4 ، 2 سم³ كما في حالة المحلول المغذي رقم (2) على التوالي .

ثم يضاف الى كل من المحلولين الغذائيين (1) او (2) المحاليل المحتوية على العناصر الغذائية الصغرى حيث يؤخذ من كل منها بعد تحضيرها حجم مقداره 1 سم³ ويضاف الى الخليط الذي سبق اخذه من كل من المحلولين (1) أو (2) كما سبق . والجدول التالي يبين كيفية تحضير المحاليل المكملة للعناصر الغذائية الصغرى والتي تشمل المنغنيز ، النحاس ، الزنك ، البورون ، والمولبدنم .

جدول (2-4) تحضير المحاليل للعناصر الغذائية الصغرى .
عن : (Epstein, 1972)

المركب	غم مذاب في لتر من الماء المقطر
1 - حامض البوريك	2.86
2 - كلوريد المنغنيز	1.81
3 - كبريتات الزنك	0.22
4 - كبريتات النحاس	0.08
5 - حامض المولبدريك	0.02
6 - تترات الحديد	0.5% بمعدل 1 سم ³ في لتر من الماء

ملاحظة : يفضل تحضير محلول خاص بعنصر الحديد وعدم اضافته الى اي من المحلولين السابقين (1) أو (2) وذلك خوفاً من عمليات الترسيب التي قد تحدث . ويتم السقي بالتبادل اي يسقي مرة بأي من المحلولين سواء استخدم المحلول المغذي رقم (1) أو رقم (2) والمضاف اليه العناصر الغذائية المبينة في الجدول رقم (2-2) أو (2-3) والمرة الاخرى من الري يستخدم فيها المحلول المحتوي على الحديد فقط . كما يفضل دائماً ان يحضر محلولاً جديداً للحديد اي قبل عملية الري مباشرة خوفاً من حدوث عملية ترسيب الحديد .

هذا وقد يضاف الحديد بشكل مركب عضوي معقد (Iron Sesquesterine 330) وذلك باذابة 24 غم من هذا المركب في لتر واحد من الماء المقطر ثم يؤخذ منه حجم 2 سم³ لكل لتر من المحلول المغذي المراد الري به . كما يمكن ايضاً استخدام ملح كلوريد الحديدوز Ferrous chloride وذلك باذابة 10 غم من هذا الملح في لتر من الماء المقطر ثم استعمال 2 سم³ من هذا المحلول لكل لتر واحد من المحلول المغذي المستخدم للري .

وحالياً يمكن استخدام الحديد الخلي Fe-EDTA Iron-Ethylene diamine tetra acetic acid كمصدر لعنصر الحديد (حيث يذاب 1340 ملغم من مادة Iron-disodium ethylene diamine tetra acetate Fe-(Na₂ C₁₀ H₁₄ O₈ N₂ 2H₂O)

في 500 سم³ من الماء المقطر ويسخن ويضاف له وهو ساخناً 900 ملغم من كبريتات الحديدوز ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) والمحتوية على 20% حديد ثم يحرك جيداً). ومن هذا المحلول المحضر يؤخذ حجم 2 سم³ لكل لتر واحد من المحلول المغذي المستعمل في عملية الري.

وبما تجدر الإشارة إليه ان (Evan and Nason, 1953) قد ابتكروا محلولاً غذائياً والمبين في الجدول رقم (5-2). كما قام Johnson et al., 1957 بإجراء بعض التحويلات على المحلول المغذي رقم (2) والمطور من قبل هوكلاند وارنون عام 1950.

جدول (5-2) : توضيح المحلول المغذي المبتكر من قبل
Evan and Nason, 1953

الملاح	التركيز بالـ Molar	التركيز بالـ PPm للعنصر
نترات الكالسيوم	0.005 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	
كبريتات البوتاسيوم	0.0025 K_2SO_4	
فوسفات البوتاسيوم	0.005 KH_2PO_4	
كبريتات المغنيسيوم	0.002 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	
كلوريد البوتاسيوم	KCl	9
كبريتات المنغنيز	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.25
فرسينات الحديد	Fe-Versenate	0.5
حامض البوريك	H_3BO_3	0.25
كبريتات الزنك	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.25
كبريتات النحاس	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.02
مولبدات الصوديوم	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.02

ملاحظة : توضيح لحتويات الجدول رقم (2-6)

(أ) عند اذابة الوزن الجزيئي بالغرام في لتر واحد ويكمل اللتر للعلاقة بالماء

المقطر فاننا نحصل على محلول تركيزه مول واحد اي واحد مولاري .

(ب) المول / لتر = 1000 مليمول / لتر (1M = 1000 mM) والمليمول / لتر

= 1000 ميكرومول / لتر (1m M = 1000 μ M)

(ج) عند اخذ حجم مقداره x سم³ من المحلول الذي تركيزه مول في اللتر وتكملة

هذا الحجم الى لتر واحد بالماء المقطر فاننا نحصل على محلول تركيزه x

مليمول في اللتر .

ولذلك فعند اخذ حجم مقداره 6 مل (سم³) من المحلول المولاري

لبيات البوتاسيوم ونكمل هذا الحجم الى لتر واحد بالماء المقطر فاننا نحصل

على محلول تركيزه 6 مليمول / لتر لكل من NO_3^- , K^+ وهو في نفس

الوقت يساوي تركيز 6000 ميكرومول / لتر لكل منهما .

(د) بالنسبة للعناصر الاحادية التكافؤ فان الوزن الجزيئي يساوي الوزن المكافئ

حيث ان :

الوزن الجزيئي = الوزن المكافئ \times التكافؤ

الوزن الجزيئي = الوزن المكافئ $\times 1$

اذن الوزن الجزيئي = الوزن المكافئ

وهذا يعني ان محلول تركيزه واحد مولاري فانه يساوي في نفس الوقت

محلول واحد عياري حيث ان العيارية تساوي الوزن المكافئ بالغرام / لتر

من الماء المقطر وبعبارة اخرى فانه لمثل هذه الاملاح (KCl , KNO_3) فان

المليمكافئ / لتر = المليمول / لتر حيث ان التكافؤ واحد .

(هـ) وبالنسبة للعناصر الثنائية التكافؤ مثل الكالسيوم او المغنيسيوم فانه في هذه

الحالة

المليمكافئ / لتر = المليمول / لتر \times التكافؤ

فمثلا المليمكافئ / لتر من الكالسيوم

$$8 = 2 \times 4 =$$

وحيث ان الملح يكون دائما في حالة اتزان فانه يجب ان يكون ايضا هناك

عدد 8 مليمكافئ من NO_3 في ملح $Ca(NO_3)_{2.4} H_2O$ او 4 مليمول /

لتر لكل من الكالسيوم والنترات .

(و) وحيث ان الـ pp^m = المليمكافئ / لتر \times الوزن المكافئ

اي = (المليمول / لتر \times التكافؤ) \times الوزن المكافئ

فانه في حالة عنصر مثل الكالسيوم

$$\text{PPm Ca} = \frac{\text{المليمول}}{\text{لتر}} \times \text{التكافؤ} \times \text{الوزن المكافئ}$$

$$160 = 20 \times 2 \times 4 =$$

وفي حالة عنصر البوتاسيوم

$$234 = 39 \times 1 \times 6 = \text{ppm K}$$

وفي حالة النتروجين (مجموع النترات + الامونيوم في الاملاح المستخدمة)

$$\text{ppm N} = \frac{\text{المليمول}}{\text{لتر}} \times \text{التكافؤ} \times \text{الوزن المكافئ}$$

$$14 \times 1 \times (2 + 8 + 6) =$$

$$224 = 14 \times 16 =$$

حيث 6 مليمول / لتر من ملح KNO_3 (حيث استعمل 6 سم³)
 ، 8 مليمول / لتر من ملح $\text{Ca(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (حيث استعمل 4 سم³)
 2 مليمول / لتر من ملح $\text{NH}_4 \text{H}_2 \text{PO}_4$ (حيث استعمل 2 سم³)

هذا ويمكن توضيح ذلك بدرجة اوضح كما يلي :
 (١) يستخرج اولا عدد المليمكافئات / لتر لتطبيق المعادلة
 المليمكافئ / لتر = المليمول / لتر \times التكافؤ

ففي حالة الكالسيوم في ملح نترات الكالسيوم $\text{Ca(NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ وحيث اننا
 استعملنا من هذا الملح حجما مقداره 4 سم³
 فيكون عدد المليمكافئات من الكالسيوم $8 = 2 \times 4$
 وهذه في نفس الوقت $8 =$ مليمكافئ / لتر من الـ NO_3

وحيث ان المحلول المغذي يجب ان يكون في حالة اتزان بمعنى ان عدد
 المليمكافئات من الكاتيونات الموجبة الشحنة يجب ان يساوي دائما عدد المليمكافئات
 من الشحنات السالبة فانه يمكن استخراج ذلك بعمل الجدول التالي لعدد
 المليمكافئات / لتر .

جدول (2-7) يوضح عملية التوازن الايوني (عدد المليكافئات / لتر) من الكاتيونات والانيونات

	Ca	K	Mg	NH ₄	NO ₃	H ₂ PO ₄	SO ₄
KNO ₃	-	6	-	-	6	-	-
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	8	-	-	-	8	-	-
NH ₄ H ₂ PO ₄	-	-	-	2	-	2	-
MgSO ₄ ·7H ₂ O	-	-	2	-	-	-	2
			18			18	

مما تقدم يمكن القول أن مزرعة المحلول المغذي (Solution Culture) عبارة عن وسط تنمي فيه النباتات في غير وسط التربة الطبيعية وتستمد النباتات النامية غذاءها من محلول يحتوي على جميع العناصر الغذائية الكبرى والصغرى الضرورية لحياتها وهذه العناصر توجد بنسب معلومة وفي حالة إتزان .

5.2 - انواع المزارع الغذائية الاصطناعية :

يمكن تقسيم المزارع الغذائية الاصطناعية من حيث طبيعة وسط النمو الى الانواع الآتية :

(1) المزارع المائية : Water Culture

وفيها يكون وسط النمو هو المحلول المغذي الذي يوضع في أوعية أو أحواض خاصة .

(2) مزارع الوسط الصلب الحبيبي : Aggregate culture

وفيها يكون وسط النمو مادة صلبة خالية تقريبا من العناصر الغذائية الضرورية وعلى شكل حبيبات توضع في اوعية ويضاف لها المحلول المغذي بصفة مستمرة . ويمكن تقسيم هذا النوع من المزارع الى :

أ) المزارع الرملية Sand cultures

ويكون فيها وسط النمو عبارة عن رمل الكوارتز النقي الذي لايزيد قطر حبيباته عن 2 ملم .

(ب) مزارع الحصى Gravel cultures
وفيها يستعمل الحصى الذي يزيد قطر حبيباته عن 2 ملم .

(ج) مزارع مواد التبادل Exchange materials
وتتميز حبيبات هذا الوسط بأن سطوحها ذات طبيعة فعالة حيث يتم عليها تبادل الكاتيونات والانيونات .
وتمتاز هذه المزارع بأن العناصر الغذائية توجد على سطوح الحبيبات بشكل متبادل وكذلك في المحلول الذي يمكن أن يطلق عليه « المحلول البيني » والعناصر توجد في كلا الوسطين الصلب والسائل (المحلول البيني) في حالة اتزان Equilibrium . ويوجد نوعان من مزارع مواد التبادل :

- (1) مواد راتنجية مصنعة Synthetic resins
 - (2) معدن الطين الطبيعي Natural clay mineral
- ويعتبر معدن الطين الطبيعي اقرب أنواع المزارع الغذائية الى التربة العادية .
ويذبل عادة الطين الغروي الذي لاتزيد اقطاره عن 0.2 ميكرون (الميكرون = $\frac{1}{1000}$ ملم) ، وفيما يلي موجز مبسط ومختصر عن كل من المزارع المائية والمزارع الرملية .

المزارع المائية : Water Cultures

- مزاياها :
- (1) يمكن التحكم وبدقة كبيرة حاليا في تحديد كمية ونوعية العناصر الغذائية المراد اجراء البحوث فيها .
 - (2) في حالة الدراسات التي يهمنها فيها دراسة المجموعة الجذرية فإن المزارع المائية تقدم لنا وسيلة فعالة حيث يمكن الزراعة في المحلول المغذي من امكانية الحصول على المجموعة الجذرية ودون تعرضها للقطع كما يمكن ملاحظة وتتبع الجذور في اي وقت نشاء وفي مراحل نمو النبات المختلفة .
 - (3) سهولة نقل النباتات النامية من اصيل الى آخر او من محلول مغذي الى محلول مغذي آخر اذا ماتطلبت الدراسة ذلك ودون تعرض الجذور للقطع .
 - (4) في البلدان المتقدمة يمكن استخدامها ككثائية الغرض حيث يمكن تربية الاسماك في الاحواض الكبيرة المخصصة لوضع المحلول المغذي وكذلك زراعة النباتات عليها في نفس الوقت كما لوحظ ذلك مؤخرا في اليابان .

مساوئها :

- (1) مكلفة من الناحية الاقتصادية وتحتاج الى خبرة معينة .
- (2) قد تتعرض النباتات النامية للتكسر لعدم ثبات جذورها .
- (3) يجب تهوية المحلول المغذي باستمرار .
- (4) يجب تبديل المحلول المغذي بين فترة و أخرى (من عشرة ايام الى اسبوعين) حيث أن تركيز العناصر عرضة للتغير بسبب امتصاص العناصر الغذائية بدرجات متفاوتة من قبل جذور النباتات ويشترط أي يظل تركيز المحلول المغذي وكذلك ضغطه الازموزي (والذي يتأثر باختلاف التركيز) ، ثابتا طول فترة اجراء التجربة . كما أن الـ pH يجب أن يظل في المدى الملائم .
- (5) يجب تهيئة الظلام اللازم للمحلول المغذي ولذلك تحتاج الى اصص خاصة مظلمة لمنع مرور الضوء والذي يشجع نمو الطحالب وخاصة عند منطقة اتصال الساق بالمحلول المغذي .
- (6) يجب أن تظل درجة حرارة المحلول المغذي ثابتة تقريبا لكل الاصص ولذلك يعمل حوض كبير عليه فتحات لوضع الاصص والحوض يملأ بالماء الاعتيادي .
- (7) في حالة اضافة صورة النترات فقط كنصدر لعنصر النتروجين وحيث أن لها تأثير فسيولوجي قاعدي فأن ذلك يؤدي الى رفع درجة تفاعل المحلول المغذي وقد تتعرض العناصر الغذائية الصغرى وهي الحديد ، المنغنيز ، الزنك ، النحاس والبورون لعملية الترسيب وبالتالي نقل جاهزيتها للنبات .

المزارع الرملية : Sand cultures

وفيها يزرع النبات كما سبق في الرمل النظيف الذي ينخل أولا بالمنخل لإزالة ما به من حصى أو أية كتل يزيد قطرها عن 2 ملم وكذلك لإزالة ما بالرمل من شوائب كالقش أو العيدان . ثم يغسل الرمل عدة مرات بحامض الهيدروكلوريك المخفف (واحد عياري) ويحضر بإضافة لتر من الحامض المركز الى 11 لتر من الماء المقطر .

ثم يصفى الحامض أولا قبل غسله ثم يغسل عدة مرات بالماء الاعتيادي ثم يكشف عن خلو الحامض من الرمل بواسطة ورقة عباد الشمس (Litmus paper) حيث أن هذا الحامض المخفف والذي هو واحد عياري كما سبق الذكر تكون درجة تفاعله تساوي صفرا حيث أن الـ pH

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log_{10} (\text{H}^+) \\ &= \log_{10} (1) \\ &= 0 \end{aligned}$$

والفسل بالحامض يمكننا من التخلص من الشوائب مثل المادة العضوية أو الأملاح التي لا تزول بالماء الاعتيادي مثل كاربونات وكبريتات الكالسيوم والمغنيسيوم . وتزود المزرعة الرملية بالحلل المغذي أما بأضافته من أعلى مباشرة باليد أو بواسطة تنقيطه قطرة قطرة أو باستعمال التغذية الجوفية (Subirrigation) حيث صعود الحلل المغذي من أسفل الأصيل إلى الجذور بالخاصية الشعرية (Capillary) ويمكن استخدام أصيص خاصة في حالة اجراء البحوث والمصنوعة من البولي أثلين والحالية تماما من العناصر الغذائية كما يمكن استخدام أصيص مصنوعة من الصاج أو الفخار بعد طليها جيدا وفي المعتاد يكون أسفل الأصيل أو على أحد جوانبه السفلية مزود بفتحة لتصريف الحلل المغذي والماء الزائد بعد وضع إناء لجمع الماء وإعادة اضافته إلى الأصيل مرة أخرى حتى لا يفقد أي من العناصر الغذائية المضافة .

مزايا المزرعة الرملية :

- (1) لا تحتاج إلى تهوية حيث أنها تهوى التهوية المطلوبة .
- (2) لا تحتاج إلى أصيص مظلمة حيث أنها تهوى الظلام الكافي للجذور .
- (3) النباتات غير معرضة للتكسر حيث أن جذورها تكون مثبتة بطريقة تشبه طريقة الزراعة في التربة .
- (4) أقل كلفة وأسهل من ناحية التطبيق حيث لا تحتاج إلى ضخ الهواء أو تبديل الحلل المغذي أو إلى دعائم لإسناد النباتات وعدم تعرضها لل ميل والتكسر .

أما غيوب المزرعة الرملية فهي :

- (1) صعوبة الحصول على رمل الكوارتز النقي وخالي تماما 100% من العناصر الغذائية أو الشوائب .
- (2) لا يمكن مراقبة نمو الجذور أو الحصول عليها كاملة .

6.2 - الأغراض التي تستخدم فيها المحاليل المغذية :

- (1) دراسة أهمية العناصر الغذائية للنبات .
- (2) دراسة أعراض النقص أو السمية للعناصر الغذائية .
- (3) دراسة العلاقة بين العناصر الغذائية سواء داخل النبات أو خارجه مثل دراسة كمية ونوعية الأسمدة الفوسفاتية على امتصاص العناصر الغذائية الصغرى .

48

- (4) دراسة معدل امتصاص النباتات للعناصر الغذائية المختلفة وتراكم هذه العناصر بداخل النبات .
- (5) دراسة تأثير pH المحلول المغذي وتركيز الاملاح والضغط الازموزي للمحلول المغذي على نمو النبات .
- (6) يمكن استخدام مزارع المحاليل المغذية في زراعة بعض انواع الزهور والخضروات والتي تحقق ربح تجاري كبير .

7.2 - الجهد الازموزي لوسط نمو النبات .

The osmotic potential of the plant growth media

إن أساس الحياة يرتبط ارتباطا وثيقا بوجود الماء خصوصا عندما يكون الماء في حالة السيولة . فهو مصدر لعنصر الهيدروجين والذي يعتبر ضروريا لكل الجزيئات العضوية . وهو مذيب لكثير من المواد كالاُملاح والتي تعتبر المصدر الرئيسي لأيونات العناصر الغذائية في التربة كما أنه مذيب للسكريات والانيونات العضوية ويعتبر الماء الوسط الذي تحدث فيه كل التفاعلات الكيميائية الحيوية للنبات (Chemical reaction of metabolism) . والماء في الحالة السائلة يسمح بانتشار المواد المذابة (diffusion of solutes materials) وجريانها او انسيابها الكتلي (mass flow) ولهذا فإن الماء ضروريا لأمتصاص (absorption) وانتقال المغذيات (nutrients transport) ونواتج التفاعلات الحيوية (Products of biochemical reactions of metabolism) الى باقي أعضاء النبات الاخرى . علاوة على ذلك فإن الماء يلعب دورا مهما في الفجوات العصارية للنباتات حيث يسبب ضغطا على بروتوبلازم وجدار الخلية والذي يعرف بالضغط الانتفاضي ψ_p (turgor pressure) وبذلك فإنه يحافظ على صلابة (rigidity) الاوراق والجذور وغيرها من الاعضاء النباتية .

إن الاساس المقترح من قبل (Slatyer 1967) حول الجهد المائي ψ_w (Water potential) كان له الفضل في فهم الاساس العلمي للعمليات التي يساهم فيها الماء .

إن مصطلح الجهد المائي يوضح ما موجود من قوة او طاقة كيميائية دافعة او كامنة في الماء ويمكن تعريف الجهد المائي بأنه الفرق في الجهد الكيميائي (chemical potential) الناتج عن الفرق في تركيز المحلول المائي (الماء المحتوي على مواد ذائبة فيه) وبين تركيز الماء النقي الحر تحت درجة حرارة واحدة ولوحدة حجم واحدة .

ويمكن توضيح ذلك بالمعادلة الآتية : -

$$\psi_w = \frac{\mu_w - \mu_w}{V_w}$$

حيث أن :

ψ_w = الجهد المائي لوحدة erg/mole والذي قد يعطي له الرمز ψ_c تعبيراً عن جهد الخلية ψ_{cell} (cell potential) في مص الماء والذي يسبب ضغطاً كان يسمى سابقاً بضغط المص SP (Suction pressure) والذي يكون مسؤولاً عن المحصلة النهائية لحركة الماء .

وهو يمثل أيضاً نقص الضغط الانتشاري (diffusion pressure deficit) .
 $-\mu_w$ = الجهد الكيميائي للنموذج المائي تحت الدراسة بوحدة erg/mole
 $-\mu^o_w$ = الجهد الكيميائي للماء النقي الحر تحت نفس درجة الحرارة بوحدة erg/mole
 V_w = الحجم المولاري الجزئي (Partial molal volume of water) للماء في النظام بوحدة cm^3/mole
 وبالتعويض عن هذه الوحدات في المعادلة السابقة تصبح المعادلة كما يلي :

$$\left(\frac{\text{erg}}{\text{cm}^3} \right) \frac{\text{إرك}}{\text{سم}^3} = \psi_w$$

أي أن وحدة قياس الجهد المائي هي وحدة طاقة / وحدة الحجم

$$\left(\frac{E_{rg}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{إرك} / \text{مول}}{\text{سم}^3 / \text{مول}} = \psi_w$$

وحيث أن الإرك = القوة × المسافة (Force × distance)

$$\left(\frac{\text{Dyne} \times \text{cm}}{\text{cm}^3} \right) \frac{\text{داين} \times \text{سم}}{\text{سم}^3} = \frac{\text{داين}}{\text{سم}^2} =$$

ومن هنا يتبين ان وحدة الجهد المائي هي وحدة الضغط . والضغط يقاس عادة بالبار (bar) او ضغط جوي (Atmosphere) (Atm) والبارا يعادل $(10^6 \text{ دايين} / \text{سم}^2)$.

والبار يعادل أيضا 0.987 ضغط جوي (Atm) وافترض ان الجهد المائي للماء النقي الحر يساوي صفرا وهذا يعني ان نشاط حركة جزيئات الماء المقطر النقي الحر اعلى مايمكن ويقل الجهد المائي للماء كلما زاد تركيز المواد المذابة فيه اي يقل نشاط حركة جزيئاته بزيادة المواد المذابة في الماء .

ولقد وجد ان الجهد المائي للانسجة النباتية يتراوح ما بين (-10 الى -20 بارا وقد يصل الى (-30 بارا في بعض الحالات (1966 Holley) في حين ان الجهد الازموزي (الضغط الازموزي) للمحاليل المغذية في حدود (-0.5 الى -1 بارا . أما الجهد الازموزي لمحاليل التربة غير الملحة والحاوية على كمية من الماء فهو يماثل تقريبا الجهد الازموزي للمحاليل المغذية ويتراوح من (-1 الى -2 بارا . هذا ويتأثر الجهد المائي بعدد من العوامل ومنها الضغط الهيدروستاتيكي الخارجي المعرض له الماء ووجود المواد الذائبة في الماء (solutes) والقوى المرتبطة بالسطوح الصلبة والسائلة ψ_m (matric Forces) بالإضافة الى التأثيرات الكهربائية الناجمة عن الشحنات الموجبة والسالبة للأيونات أو الشحنات السالبة والموجبة لغرويات التربة والمسامة بالطبقة الكهربائية المزدوجة (Electrical double layer) او الشحنة السالبة لجدار الخلية وغشاء البلازما (Plasmalemma) وتأثيرات الجاذبية (Gravity) ربما تكون ذات أهمية في بعض الحالات الخاصة ولكن غالبا ماتهمل هذه التأثيرات مثلما يهمل كذلك تأثير لدرجة الحرارة ψ_t (temperature) ويؤخذ بنظر الاعتبار بالنسبة للنبات ثلاثة مكونات للجهد المائي أي ان :

$$\psi_w = \psi_p + \psi_s + \psi_m$$

حيث ان :

ψ_w = الجهد المائي Water potential

والذي يمثل القوى المحركة لانتقال الماء والنواتج عن الفرق بالجهد المائي بين نقطتين والذي يمثل الفرق في التركيز بين المحلولين والذي يشير الى الفرق في القوة او الطاقة الكيميائية الدافعة او الكامنة للماء معبرا عنها بالضغط الجوي او بالبار .

ψ_p = ضغط الانتفاخ Turgor pressure
والذي يعبر عن القوة المبذولة على غشاء الجدار الخلوي وغشاء البلازما من داخل
الخلية الى الخارج بوحدة الضغط الجوي

ψ_s = هي الفرق في الجهد الاوزموزي (Osmotic pressure)
والذي كان يسمى سابقا بالضغط الاوزموزي (Osmotic pressure) والناتج عن
المواد الذائبة وهو يمثل القوى المحركة لجزيئات الماء من محلول التربة الخارجي الى
داخل الخلية (المحلول الداخلي) بوحدة الضغط الجوي
 ψ_m = وهو ناتج عن تأثير السطوح الصلبة في الطور المائي (Water phase)
ويسمى هذا المكون بجهد التشرب (matric potential) حيث أن الماء يمكن أن
يحيط بجزيئات كبيرة مثل البروتينات والسكريات المتعددة بواسطة أواصر
الهيدروجين (Hydrogen bonds) وبوحدة الضغط الجوي .

وبهذه الكيفية يمكن أن تتشرب (Imbibition) سطوح الخلايا والاعشية بالماء .
علاوة على هذا التأثير الامتصاصي فقد يحمل الماء شعريا (capillary) بواسطة
تأثيرات الشد السطحي (Surface tension) وهذه القوى هي التي يطلق عليها بالـ
(matric forces) . وبما ان هذه القوى تعرقل حركة الماء فإنها تؤدي الى خفض
الجهد المائي ولهذا فإن قيمة ψ_m تكون سالبة . في حين ان قيمة ضغط الانتفاخ
تزيد من قيمة الجهد المائي ولذلك فإنها تحمل اشارة موجبة غالبا .

وفي جسم النبات الحديث العمر تكون نسبة الماء المقيد بواسطة قوى الـ
matric قليلة جدا (Wiebe and AL-Saadi, 1976) ولذلك فإنها تهمل غالبا
ويكون لها أهمية في التربة أو عندما تكون الانسجة النباتية قد استغلت أكثر من
50% من محتواها المائي ويصبح الجهد المائي مكونا فقط من مكونين وكما يلي : -

$$\psi_w + \psi_p + \psi_s$$

ان وجود المواد الذائبة في الماء يؤدي الى تقليل تركيز الماء وبعبارة ادق يؤدي الى
تقليل نشاط حركة جزيئاته وهذا بدوره يخفض الجهد المائي وبالتالي قلة قابلية نفاذ
الماء أي انتشاره من المحلول الخارجي الى داخل النبات .

فمثلا بالنسبة لمحلول سكروز تركيزه 0.1M فإن جهده المائي يكون اقل بمقدار
2.27 بارا عن الجهد المائي للماء المقطر النقي الحر تحت نفس درجة الحرارة

والضغط . إن الجهد الازموزي ψ_s هو دائماً ذو قيمة سالبة أي اقل من صفر والذي هو قيمة الجهد المائي للماء الحر النقي ، كما سبق ذكر .

إذا اخذنا بنظر الاعتبار الجهد المائي لنسيج نباتي مثل خلايا النسيج المتوسط في الورقة (Mesophyll) فإن نسبة عالية من الماء موجودة في الفجوات (90%) والتي تحتوي أيضاً على كميات كبيرة من المواد الذائبة في الساييتوبلازم اما جدران الخلايا فيوجد حوالي 5% ماء والتي تكون معرضة للقوى من نوع matric .

ان كلا من قوى الـ matric والمواد الذائبة ψ_s تخفض من الجهد الازموزي (اي تزيد عن قيمته السالبة) ولهذا السبب فإن الجهد المائي لأجزاء النبات (الاوراق ، السيقان ، الجذور) تكون اعتيادياً سالبة غير انه تحت ظروف معينة ربما يكون الضغط الهيدروستاتيكي في الفجوات عالياً فيؤدي هذا الى حصول الجهد المائي على قيمة الصفر في حالة الانتفاخ. ان الجهد المائي يمثل القوى المحركة لانتقال الماء وان حركة الماء في الخلايا والانسجة النباتية تحصل من الجهد المائي العالي (الاقل تركيزاً اي ذو المحتوى المنخفض من المواد المذابة) الى الجهد المائي الواطيء (الاكثر تركيزاً اي ذو المحتوى العالي من المواد المذابة) .

وطبقاً لفرضية (Calenary) فإن حركة الماء بين نقطتين تعتمد على الاختلاف بالجهد المائي وعلى مقاومة الجريان او السريان او الانسياب الكتلي (Mass flow) ومثل هذه المقاومات في النبات هي جدران الخلايا والاعشبة الحيوية والكيوتيكول وغيرها ولهذا فإن معدل جريان الماء يمكن توضيحه بالمعادلة الآتية :

$$F = \frac{\psi_1 - \psi_2}{R} \quad \text{أي} \quad F = \frac{\psi_w}{R}$$

حيث ان :

$$\psi_w = \psi_1 - \psi_2$$

$$\psi_w = \text{الجهد المائي}$$

$\psi_1 - \psi_2$ = الفرق بالجهد المائي بين نقطتين والذي يمثل الفرق في التركيز بين المحلولين والذي يشير الى الفرق في القوة او الطاقة الكيميائية الدافعة او الكامنة للماء معبراً عنها بالضغط الجوي او بالبار

R = المقاومة بوحدة Sec / cm

F = معدل الجريان الكتلي وتساوي كمية السائل النافذة او المنتشرة (عدد الجزيئات) خلال وحدة مساحة المقطع العرضي للغشاء وفي وحدة الزمن (مول / سم² . ثانية).

8.2 - انتشار المواد الذائبة وحركة الماء الى داخل وخارج الخلايا :

ان مقدار ما ينتقل من مادة ما من خلية الى اخرى او التي تدخل او تخرج من الاوراق بواسطة الانتشار البسيط (Simple diffusion) يتوقف على معدل الانتشار وكذلك على نفاذية الاغشية الخلوية .

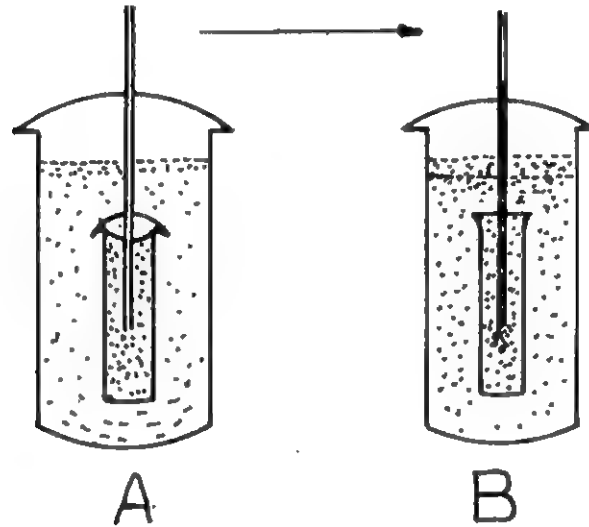
وبصفة عامة فإن العوامل التي تؤثر على انتشار الغازات هي بدورها تؤثر على معدل انتشار المواد السائلة والصلبة الا ان انتشار الغازات يفوق الاف المرات انتشار المواد الصلبة وهذا يرجع اولا لان الوزن الجزيئي للمواد الصلبة اعلى منه للغازات وثانيا لان كثافة المواد الصلبة تفوق كثيرا كثافة الهواء .

أما حركة الماء عبر الاغشية الخلوية فقد ينظر اليها بمنظار آخر يختلف عن حركة المواد الذائبة وكذلك تختلف عن الانتقال الحيوي حيث اجريت دراسات عديدة لمعرفة ما اذا كان انتقال الماء عبر الأغشية الخلوية مرتبطا ببذل طاقة من قبل النبات الحي ويمكن أن تعتمد حركة الماء على ظاهرة التناضح او التناضح (Osmosis) . والتناضح عبارة عن عملية انتشار المحاليل خلال الاغشية شبه النفاذة . والمذيب في هذا النظام هو الماء دائما كما في الشكل (2-10) .

9.2 - التناضح في خلايا النبات Osmosis in plant cells

إن الازموزية في الخلايا النباتية تبدو أكثر تعقيدا عما هو عليه الحال في النظام الازموزي الصناعي . حيث أن الضغط الازموزي للخلية والذي يسمى حديثا بالجهد الازموزي (Osmotic pressure = Osmotic potential) دائما في تغير نظرا لدخول المواد الذائبة في تفاعلات كيميائية وبالتالي فهي دائما الحركة بين داخل وخارج الخلية منها ولذلك فهناك تغير مستمر في الضغط الانتفاخي والذي يسمى أيضا بجهد الضغط (Turgor pressure = pressure potential) ، ولذلك من النادر أن تصل الخلية النباتية الى حالة الاتزان (equilibrinm) والذي يحدث عادة للنظام الفيزيائي الصرف (Purely physical system) .

ويلاحظ زيادة في حجم الخلية النباتية نتيجة لزيادة الضغط الانتفاخي وعموماً فإن الزيادة في حجم الجدار الخلوي يكون أقل من الزيادة في حجم الأغشية الخلوية ولكن بزيادة ضغط الجدار أي بزيادة الضغط الانتفاخي فقد يحدث تمزق لهذا الجدار وقد يتحمل الجدار الخلوي لضغط يصل الى (-30) باراً. إن مقاومة الجدار الخلوي للضغط المسلط عليه تعتبر من الخواص الهامة لهذا الجدار.



شكل (10-2) رسم توضيحي لعملية التناضح (Osmosis)

حيث أن :

A يمثل محلول سكري 50% مفصول عن الماء المقطر بغشاء نصف ناضح (Semipermeable) و B دخول الماء المقطر خلال الغشاء نصف الناضح الى محلول السكر مسبباً ارتفاع المحلول الى اعلى في العمود وتستمر العملية حتى يعادل الضغط الناشئ عن ارتفاع المحلول بالقوة المسببة لدخول الماء ويطلق على هذا الضغط بالضغط الأزموزي (Osmotic pressure) غير ان هذا الضغط يسمى حديثاً بالجهد الأزموزي (Osmotic potential).

عن : (Bonner and Galston, 1952).

وعموماً يمكن تلخيص ماسبق ذكره عن عملية التناضح والعوامل والقوى المؤثرة عليها في المعادلة التالية :

$$\psi_w = \psi_p + \psi_s + \psi_m + \psi_t$$

وكما سبق فإن

ψ_w = الجهد المائي والذي قد يرمز له بالرمز ψ_c او ψ

ψ_p = ضغط الانتفاخ والذي قد يرمز له أيضاً بالرمز TP

ψ_s = الجهد الأزموزي أو الضغط الأزموزي (OP) والذي يرمز له أيضاً بالرمز

ψ_h .

ψ_m = matric potential المتسبب عن قوى الـ (matric forces)

ψ_t = القوة المتسببة عن درجة الحرارة

إن قيمة ψ_w هي دائما سالبة ماعدا الحالات التي تنفس فيها الخلايا في الماء المقطر النقي الحر وهذا بالطبع غير متواجد في الطبيعة .
 إن ψ_p تزيد من قيمة الجهد المائي ولذلك فهي موجبة .
 أما ψ_m ، ψ_s فهي تقلل من الجهد المائي ولذلك فإن قيمتها سالبة .
 بالنسبة لـ ψ_t فهي تزيد من قيمة الجهد المائي الا أن قيمتها تحمل كما في حالة ψ_m .
 لأنها لا تلعب دورا مهما حيث تكون درجة الحرارة للخلية النباتية مساوية لدرجة الحرارة للخلية المجاورة أو متساوية مع درجة حرارة محلول التربة الخارجي .
 وبعبارة أدق فإن القوتين المؤثرتين في الجهد المائي ψ_w والتي تعتبر محصلتها السبب في حركة جزيئات الماء من وإلى الخلية النباتية هما فقط ψ_p ، ψ_s .
 أي أن $\psi_w = \psi_p + \psi_s$

10.2 - درجة تفاعل وسط النمو (pH)

يعتبر الـ (pH) من العوامل المهمة الذي يلعب دورا مهما في جاهزية وامتصاص المغذيات في التربة وامتصاصها بواسطة جذور النبات . يتراوح الـ pH من 4 أو أقل في الترب الحامضية وقد يصل إلى أكثر من 8 في الترب القلوية .

هناك بعض أنواع النباتات قد تأقلمت بحيث يمكنها النمو في كل من قيم الـ pH المتطرفة السابقة الذكر . غير أن معظم النباتات تنمو نغوا جيدا في درجات الـ pH المحصورة من 5-7 وهي نفس قيم الـ pH لمعظم المحاليل المغذية . ولدرجة تفاعل وسط النمو أهمية كبيرة نذكر منها مايلي :

(1) إن قيم الـ pH تؤثر على جهد الأكسدة والاختزال (Redox-Potential) وعلى عامل الذاب (solubility coefficient) لكثير من المركبات المتواجدة في التربة وتؤثر على الصورة الأيونية للعنصر وجاهزيته وإمتصاصه فمثلا نجد أن النبات يمتص $N-NO_3^-$ أفضل تحت الظروف الحامضية وصورة الـ $N-NH_3^+$ تمتص بدرجة أعلى من صورة $N-NO_3^-$ تحت الظروف القاعدية والذي يرجع إلى قلة منافسة أيونات الهيدروكسيل لصورة النترات لقلة تركيزها تحت الظروف الحامضية وقلة منافسة (Antagonism) أو (Interaction) أيونات الهيدروجين لصورة الامونيوم تحت الظروف القاعدية .

كما نجد سيادة الصورة الأحادية للفوسفات $H_2PO_4^-$ تحت الظروف الحامضية وبالتالي زيادة امتصاصها في حين يزداد تواجد الصورة الثنائية للفوسفات

HPO_4^- تحت الظروف القاعدية قليلا وعند 7 pH يتساوى تواجد الصورتين في التربة وكما هو الحال فإنه عند درجة تفاعل 6.8 يتساوى امتصاص صورتي النترات والامونيوم بواسطة جذور النبات .

وفي محلول التربة الجيدة التهوية وذات الـ 8 pH نجد أن الحديد يترسب على شكل هيدروكسيد الحديد Fe(OH)_3 القليل الذوبان وغير الجاهز (nonavailable) للنبات . كما نجد أنه بانخفاض الـ pH أي بزيادة تركيز أيونات الهيدروجين (وبمعنى آخر زيادة الحموضة) تزداد جاهزية وامتصاص كل العناصر الغذائية الصغرى ماعدا عنصر المولبدنم والذي تزداد جاهزيته كلما زادت درجات الـ pH (أي كلما اتجهنا نحو القاعدية) والذي يعود إلى إحلال أيونات الهيدروكسيل على سطوح المواد الفعالة محل أيونات المولبدات وانفراد المولبدات إلى محلول التربة .

(2) قد يكون هناك تأثيرات مباشرة لكل من $(\text{H}^+ , \text{OH}^-)$ على جذور النباتات خاصة أغشية نقل الأيونات في خلايا البشرة حيث نجد أنه في درجات الـ 4 pH أو أكثر من 9 يحدث تآكل لخلايا هذه الجذور .

(3) قد تسبب زيادة تركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة أو في وسط نمو المزارع الرملية والمائية سحب الكاتيونات المتواجدة في طبقة الجذور الخارجية والتي كان النبات مستعدا لادخالها إلى داخل الفجوات العصارية وعملية سحب الكاتيونات يطلق عليها (Depletion) . وقد تحدث مثل هذه الظاهرة في ترب المناطق الحامضية حيث يحدث فيها إحلال أيونات الهيدروجين محل الكاتيونات المتبادلة على سطوح غرويات التربة (الطين والديبال) ورجوع هذه الكاتيونات إلى محلول التربة . ونظرا لسقوط الأمطار المستمر في تلك المناطق (مثل المناطق الأوربية) فإنه يحدث غسل (Leaching) لهذه الكاتيونات والتي أهمها أيونات الـ $(\text{Ca}^{2+} , \text{Mg}^{2+} , \text{Na}^+ , \text{K}^+)$.

ونتيجة لإحلال أيونات الهيدروجين محل هذه الكاتيونات وفقدائها بعملية الغسل فإن نباتات هذه المناطق تعاني من نقصها ولكن الأهم من ذلك هو تأثيرها السلبي على خواص التربة الكيميائية والفيزيائية والحيوية وكذلك السمية لبعض العناصر والتي تزداد جاهزيتها في الترب الحامضية مثل الـ (Al , Mn) . وبالطبع فإن السمية بالالومنيوم والمنغنيز تكون غالبا مؤشرا ودالة لمعاناة النبات لنقص عنصري

الفسفور والحديد على التوالي حيث أن الفسفور يترسب على صورة فوسفات الحديد والالومنيوم في هذه الحالة ($Al PO_4 + FePO_4$) أما السمية بالمنغنيز فتسبب نقص عنصر الحديد حيث أن المنغنيز يمنع من تكون الانزيمات الخاصة .

11.2 — مقارنة محاليل التربة ومحاليل المزارع الغذائية

ان تركيز المحاليل المغذية المستخدمة في المزارع الغذائية يعتبر نسبياً أعلى من تركيز محاليل التربة . فقد أوضحت الدراسة التي قام بها (1966, Reisenauer) عندما قام بدراسة عدد كبير من محاليل الترب حيث أوضح التركيب الكيميائي لمحاليل هذه الترب ان معظم النماذج المختارة لم يتجاوز فيها تركيز كاتيونات وانيونات العناصر الغذائية الكبرى 100 جزء في المليون (100 ppm) وبالنسبة للفوسفات فان معظم العينات كان تركيز الفوسفات فيها أقل من 0.5 جزء في المليون . في حين محتوى المحاليل المغذية من الفسفور قد يصل الى 62 جزء وبالنسبة للبوتاسيوم فقد كان محتوى أكثر من 50% من العينات المفحوصة أقل من 50 جزء في المليون . في حين ان محتوى المحاليل المغذية من عنصر البوتاسيوم يفوق ذلك بكثير وقد يصل الى أكثر من 250. جزء في المليون . وبالنسبة للنيتروجين فان أكثر من 50% من النماذج والعينات التي قدر فيها النيتروجين بشكل لم تزيد عن 200 جزء في المليون ($N-NO_3$) وهذا تقريباً يقارب محتوى المحاليل المغذية من النيتروجين والذي يبلغ 224 جزء في المليون ، لاحظ جدول رقم (2-6) .

إن سبب ارتفاع تركيز المحلول المغذي عن تركيز محلول التربة يعود الى صعوبة الحفاظ على التراكيز المنخفضة للعناصر الغذائية في المحاليل بسبب سحبها المستثير من قبل النبات ويظهر أن النباتات لا تحتاج الى مثل هذا التركيز العالي فقد لاحظ (1961, Williams) أن نبات الشعير *Hordeum vulgare* المزروع في مزرعة غذائية قد نما بصورة جيدة دون ان تظهر عليه اية اعراض لنقص عنصر البوتاسيوم عندما حافظ على تركيز البوتاسيوم عند التركيز 0.01 جزء في المليون (0.25 ميكرومول) من البوتاسيوم في المحلول المغذي وقد حصل على تراكيز اعتيادية في أنسجة النبات .

كما أشار (1967, Asher and Ozanne) عندما زرعوا عدة أنواع نباتية سائدة في غرب استراليا في محاليل غذائية محتوية على ميكرومول من البوتاسيوم وحافظوا على هذا التركيز في المحلول المغذي المستخدم . كما وجد ان تركيز 0.5 جزء في المليون (5.3 ميكرومول PO_4) قد ادى للحصول على نمو جيد لنبات الذرة

الصفراء (*Zea mays*) وكذلك لنبات الذرة البيضاء (*Sorghum vulgare*) وكذلك لنبات الطماطة (*Lycopersicum esculentum*) في دراسات قام بها (1930, Tidmore) كما حصل (1967, Asher and Loneragan) على نمو جيد لعدة أنواع نباتية عندما كان تركيز الفوسفات في المحاليل المغذية يقدر بحوالي (5 ميكرومول).

يتضح من الدراسات السابقة من نتائج تحليل التربة ان النباتات يمكنها ان تنمو جيدا عندما يكون تركيز محاليل التربة من العناصر الغذائية الضرورية منخفضة جدا مقارنة بتركيزها في محاليل المزارع الغذائية .

ويذكر ان النباتات تحتاج الى الامداد بكميات مناسبة من العناصر خصوصا اذا ما نمت النباتات لمرحلة النضج وليس الى تركيز عالي للمحلول الخارجي وهذا هو السبب الذي يدعونا الى استخدام تراكيز عالية نسبيا من العناصر الغذائية في المحاليل المغذية مقارنة بمحاليل التربة والتي تزود باستمرار من الطور الصلب للتربة في حالة اختلال التوازن نتيجة لامتناس النباتات للعناصر الغذائية .

اما التركيز المنخفض الذي ادى الى نمو جيد والذي تناوله وذكره الباحثون السابقون فهذا يعود الى امكانية المحافظة على « التركيز نتيجة لنمو عدد محدود من النباتات في محلول غذائي ذو حجم كبير نتيجة لتغيير هذا المحلول وتجديده باستمرار نتيجة لدورانه المستمر باستخدام تقنية متطورة ومضخات والتي تعيد المحلول المغذي المار حول الجذور والخارج من أسفل وتجمعه في خزان تم اعادته ضخه الى النباتات ثانية .

2.12 التأثيرات الفسيولوجية للجهد المائي -

يعتبر الجهد المائي أحد العوامل المهمة والرئيسية التي تلعب دورا كبيرا في انتاجية ونوعية المحاصيل الزراعية . ولهذا فالعلاقات الفسيولوجية المتعلقة بالجهد المائي تحتاج الى دراسة مفصلة . ان فقد أنسجة النبات للماء قد يسبب تأثيرات كبيرة تؤدي الى نقص الضغط الانتفاخي (ψ_p) داخل الخلايا النباتية والتي قد ينتج عنها زيادة في تركيز الجزيئات الكبيرة والمواد ذات الوزن الجزيئي الواطيء . كما قد يحصل انخفاض في الجهد المائي (ψ_w) وبمعنى اخر قلة نشاط جزيئات الماء الموجود فعلا بداخل الخلايا النباتية ولاشك ان مثل هذه التغيرات يكون لها تأثير مباشر على التفاعلات الحيوية الضرورية للنبات . فقد أوضح (Hsiao et al; 1976) ان فقد الماء بمعدل 10—15% قد ادى الى تناقص الجهد المائي بمقدار 6 بار وقد انعكس على عدد من العمليات الحيوية الضرورية للنبات ذكر منها مايلي :

الصفراء (*Zea mays*) وكذلك لنبات الذرة البيضاء (*Sorghum vulgare*) وكذلك لنبات الطماطة (*Lycopersicum esculentum*) في دراسات قام بها (1930, Tidmöre) كما حصل (1967, Asher and Loneragan) على نمو جيد لعدة أنواع نباتية عندما كان تركيز الفوسفات في المحاليل المغذية يقدر بحوالي (5 ميكرومول).

يتضح من الدراسات السابقة من نتائج تحليل التربة ان النباتات يمكنها ان تنمو جيدا عندما يكون تركيز محاليل التربة من العناصر الغذائية الضرورية منخفضة جدا مقارنة بتراكيزها في محاليل المزارع الغذائية .

ويذكر ان النباتات تحتاج الى الامداد بكميات مناسبة من العناصر خصوصا اذا ماتت النباتات لمرحلة النضج وليس الى تركيز عالي للمحلول الخارجي وهذا هو السبب الذي يدعونا الى استخدام تراكيز عالية نسبيا من العناصر الغذائية في المحاليل المغذية مقارنة بمحاليل التربة والتي تزود باستمرار من الطور الصلب للتربة في حالة اختلال التوازن نتيجة لامتناس النباتات للعناصر الغذائية .

اما التركيز المنخفض الذي ادى الى نمو جيد والذي تناوله وذكره الباحثون السابقون فهذا يعود الى امكانية المحافظة على « التركيز نتيجة لنمو عدد محدود من النباتات في محلول غذائي ذو حجم كبير نتيجة لتغيير هذا المحلول وتجديده باستمرار نتيجة لدورانه المستمر باستخدام تقنية متطورة ومضخات والتي تعيد المحلول المغذي المار حول الجذور والخارج من أسفل وتجمعه في خزان ثم اعادة ضخه الى النباتات ثانية .

2.12 التأثيرات الفسيولوجية للجهد المائي -

يعتبر الجهد المائي أحد العوامل المهمة والرئيسية التي تلعب دورا كبيرا في انتاجية ونوعية المحاصيل الزراعية . ولهذا فالعلاقات الفسيولوجية المتعلقة بالجهد المائي تحتاج الى دراسة مفصلة . ان فقد أنسجة النبات للماء قد يسبب تأثيرات كبيرة تؤدي الى نقص الضغط الانتفاخي (ψ_p) داخل الخلايا النباتية والتي قد ينتج عنها زيادة في تركيز الجزيئات الكبيرة والمواد ذات الوزن الجزيئي الواطيء . كما قد يحصل انخفاض في الجهد المائي (ψ_w) وبمعنى اخر قلة نشاط جزيئات الماء الموجود فعلا بداخل الخلايا النباتية ولاشك ان مثل هذه التغيرات يكون لها تأثير مباشر على التفاعلات الحيوية الضرورية للنبات . فقد أوضح (Hsiao et al, 1976) ان فقد الماء بمعدل 10—15% قد ادى الى تناقص الجهد المائي بمقدار 6 بار وقد انعكس على عدد من العمليات الحيوية الضرورية للنبات ذكر منها مايلي :

(1) تمدد الخلية وانقسامها :

يعتبر نمو الخلية من أكثر العمليات الحيوية حساسية للتغير في الجهد المائي وقد تبين ان التأثير الاساسي في هذه العملية هي عملية فيزيائية محضة ترجع الى عملية التناضح Osmosis حيث أن انخفاض الضغط الانتفاخي (ψ_p) للخلية النباتية بسبب تناقص تمدد الخلية يعمل على تناقص الجهد المائي داخل الخلية ومن هنا يتبين ان هناك علاقة وطيدة بين التناقص في حجم الخلية والجهد المائي في هذه الخلايا .

كما يلاحظ : في الليل ونتيجة لانخفاض عملية النتح يتجمع الماء في الخلايا مسببا حدوث انتفاخ عال في أنسجة النبات والذي بدوره يحفز معدل النمو مقارنة بمعدل النمو في النهار (Boyer, 1968). وبما أن ماء التربة يؤثر في الجهد الازموزي لحلول التربة (ψ_s) والذي ينعكس سلبا أو ايجابا على الجهد المائي (ψ_w) للورقة فان نمو وتوسع الورقة يعتمد على جاهزية الماء في التربة (Marc and Palmer 1976). هذا وقد وضح (Acevedo et al., 1971) بان استطالة أوراق نبات الذرة الصفراء (*Zea mays*) الحديثة العمر قد انخفضت عندما تناقصت جاهزية الماء للوسط الجذري من — 0.1 الى — 0.2 بار ، ونتيجة لذلك فقد تغير الجهد المائي للورقة من — 2.8 الى — 7 بار على التوالي. وبالإضافة الى تمدد ونمو الخلية فان انقسام الخلية يمكن ان يتأثر ايضا بالجهد المائي ولقد اقترح (Hsiao, 1973) بانه اذا كانت فترة الانخفاض في الجهد المائي طويلة فان انقسام الخلية قد يتوقف تماما .

(2) لوحظ ان تكون الجدار الخلوي والبروتين في الانسجة السريعة النمو هما اكثر تأثرا بالتغير في الجهد المائي بعد نمو الخلية وهذا طبيعي حيث ان نمو جدار الخلية يرتبط ارتباطا وثيقا بالعمليات الحيوية لجدار الخلية ولقد لوحظ قلة بناء الجدار الخلوي نتيجة الانخفاض في الجهد المائي (Cleland, 1967). كما اشار كل من (Mizrahi et al., 1970) و (Dhindsa and Cleland, 1975) بان تكون البروتينات من الاحماض الأمينية قد تعرقلوا اشاروا ان هناك نقصا واضحا في تكوين الحامض الأميني Leucine وكذلك في نوعية البروتين المتكون . بيد أن الصورة غير واضحة حول كيفية تأثير الجهد المائي في تكوين البروتينات ولكنه اصبح من الواضح انه لا يعود الى نشاط الهرمونات النباتية .

(3) الانزيمات .

ان نقص الماء الشديد يؤثر تأثيرا مباشرا على مستويات الانزيمات في النباتات . فقد لوحظ انه تحت تأثير الجهد المائي المتوسط فان بعض الانزيمات ارتفع مستواها مثل الانزيمات التي تشارك في عملية التحلل المائي (hydrolysis) وعملية فصل الهيدروجين (dehydrogenation) . غير انه وجد بصورة عامة انخفاض مستوى الانزيمات بانخفاض الجهد المائي وخاصة محتوى النباتات من انزيم الـ (nitrate reductase) الذي له علاقة مباشرة في عملية اختزال النترات وتحويلها الى امونيا والتي ترتبط بعد ذلك مع الاحماض العضوية الكيتونية لتكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر الاساس لتكوين البروتينات . ولقد اقترح (Bardzik et al., 1971) بان هذا يعود الى منع أو ايقاف (Suppression) تكون البروتين . غير انه حصل اعتراض حول الرأي المقترح السابق وقد استبعد ان يكون للجهد المائي تأثيرا مباشرا على تكوين بنية هذا الانزيم وان هذا يمكن ان يحدث في حالة فقدان الماء في حالة الجفاف لكي يبدأ تأثير الجهد المائي في تكوين بنية هذا الانزيم . هذا من ناحية ومن ناحية اخرى فانه ثبت ان الانزيمات ذات نصف العمر القصير مثل انزيم الـ (Nitrate reductase) تؤثر على تكوين البروتين وليس العكس اي ان تكوين البروتين يعتمد على مثل وجود هذه الانزيمات .

(4) الهرمونات النباتية .

هناك علاقة معقدة بين الجهد المائي والهرمونات النباتية ومع ذلك فهناك بعض النقاط الأساسية التي اصبحت واضحة فقد وجد انه تحت الظروف المتوسطة للجهد المائي فهناك تجمع سريع لحامض الـ ABA (abscisic acid) في النبات . ان تجمع (ABA) يسبب غلق الثغور في الورقة ومنع عملية النتح (Beardsell and Cohen 1975) . وبما ان هرم النبات (Senescence) يزداد بواسطة (ABA) فان فكرة تقليل عمر النبات تحت ظروف الجهد المائي الواطيء قد تعود الى تكوين الـ (ABA) في النبات .

ومن المعروف ان الإيثيلين يؤدي الى فصل جزء من النباتات عن النبات الكلي (abscission) وهذه مشكلة معروفة في حالة نبات القطن حيث يحدث عن طريق تكون الإيثيلين عند نقص في الماء فقدان الازهار المكتملة النمو والثمار الحديثة التكوين . ولقد اقترح (McMicheal et al., 1972) بان هذا يعود الى تعرض هذه الاجزاء الى نشاط وفعالية الإيثيلين وان تكون الإيثيلين يحدث في اعناق (petioles) الاوراق بعد ساعات قليلة من نقص الماء (Water deficit) . وما يؤيد ذلك لوحظ في حالات معينة تناقص تكون الإيثيلين عند ري النباتات .

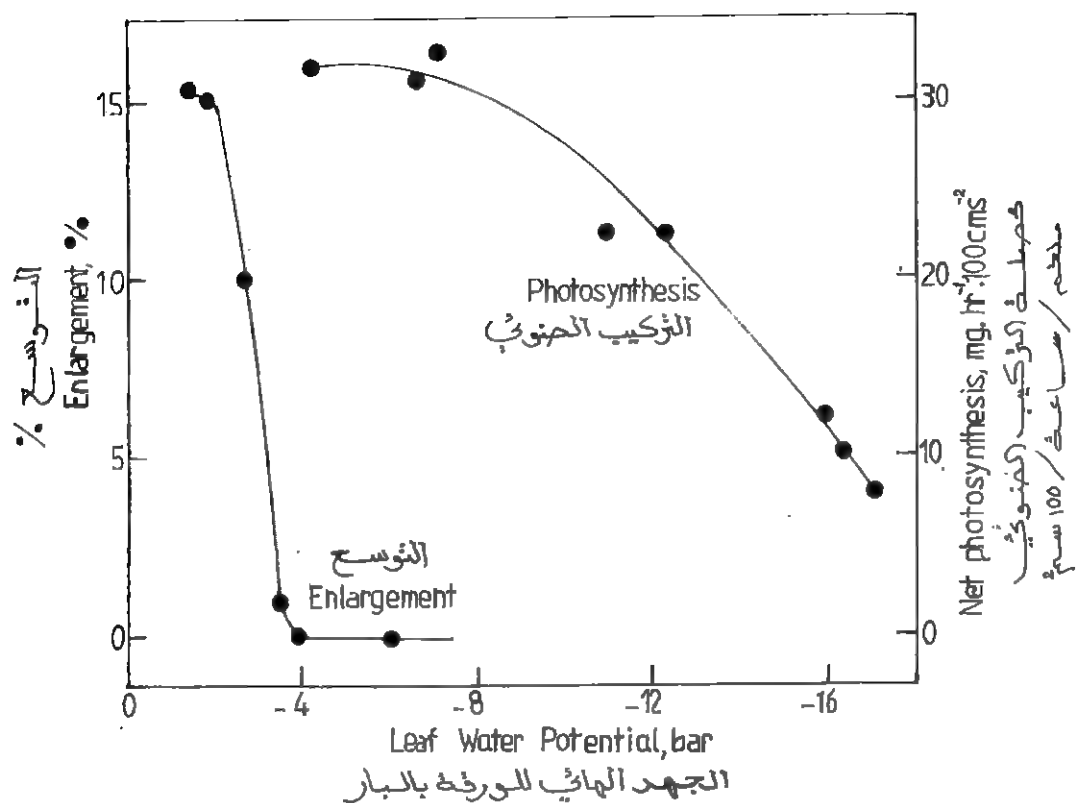
(5) نشاط عملية التركيب الضوئي .

كما سبق تبين ان للجهد المائي تأثير على عملية فتح الثغور حيث يقللها أو يمنعها نتيجة لتكوين حامض الـ (ABA) ومنع حدوث عملية التركيب الضوئي . غير ان (1973, Hsiao) قد أشار ان هناك تأثيراً بسيطاً في غلق الثغور عندما يكون الانخفاض في الجهد المائي متوسطاً ، حيث وجد ان نبات فول الصويا لم يظهر أي نقص في عملية تبادل الغازات وأن غلق الثغور قد حصل لنبات فول الصويا عندما انخفض الجهد المائي الى درجة أقل من (—10) بار ، بينما في نباتي عباد الشمس والذرة الصفراء (Sunflower, corn) حصل انغلاق للثغور عندما كان الجهد المائي (—7) بار (1970, Boyer) . ان هذه القيم تسمى بالقيم الحدية أو الحرجة (critical) والتي توضح بأن هناك احتياجاً الى جهد مائي منخفض جداً لمنع تبادل الغازات وانتشار غاز CO_2 من الجو خلال الثغور الى النسيج المتوسط (Mesophyll) للاوراق .

ان النتائج التي توصل اليها (1970, Boyer) في دراسته لنبات عباد الشمس قد بينت بشكل واضح ان التغير في تمدد وتوسع الورقة (enlargement) هو أكثر حساسية للتغير في الجهد المائي للورقة من عملية التركيب الضوئي كما في الشكل (2-11) الذي يوضح بان توسع الورقة كان أكثر حساسية حيث حصل تناقص سريع في توسيع الورقة عندما تناقص الجهد المائي الى ما بعد (—3) بار . بينما محصلة التركيب الضوئي لم تتناقص بسرعة الا بعد انخفاض الجهد المائي الى أكثر من (—8) بار .

ويحتمل أن نقص الجهد المائي الشديد يسبب قلة امتصاص CO_2 ويقل كذلك معدل عملية الفسفرة الضوئية [أي تكون الـ ATP (Adenosine triphosphate) بعملية الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) .

هذا ووجد (1973, Breverdan and Hodges) بأن نبات الذرة الصفراء النامي تحت ظروف الحقل وكان الجهد المائي ما بين (—17 الى —22) بار قد حصل فيه توقف في معدل تمثيل CO_2 كما لوحظ أيضاً تناقص في معدل انتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي من الاوراق أي من أماكن تكوينها الى أجزاء النبات الأخرى . ولقد أشار الباحثان أن انتقال المواد الناتجة من عملية التمثيل الضوئي هو أكثر حساسية للجهد المائي من حساسية عملية التمثيل الضوئي نفسها كما أشار (1971 Bell et al.) . كما يحتمل أن الجهد المائي المنخفض ربما يقلل من عملية التنفس .



شكل (11-2) تأثير الجهد المائي في ورقة عباد الشمس على التوسع ومحصلة عملية التركيب الضوئي عن : (Boyer, 1970)

(6) تجمع البرولين

لقد وجد (Singh et al., 1973) ان النباتات المقاومة للانخفاض في الجهد المائي قد احتوت على كميات أعلى من الحامض الأميني البرولين (Proline) مقارنة بالنباتات الحساسة. فقد لاحظ من دراسته لنباتات الشعير التي نمت أولاً في محلول غذائي ثم نقلت الى محلول آخر ذو جهد أوزموزي يقدر بـ (20—) بار لمدة 72 ساعة جدول (8-2) ان الاصناف المقاومة كان محتواها أعلى من البرولين مقارنة بالاصناف التي أظهرت حساسية للانخفاض في الجهد المائي. والشئ المشجع من هذه النتائج ان الاصناف المقاومة لم تظهر أي فروق معنوية بالجهد المائي للورقة أو نشاط أنزيم الـ (dehydrogenase) أو محتوى الورقة من الكلوروفيل ولقد أشار

الباحثون السابقون أن النبات حصل فيه تجميع البرولين لتقليل الجهد المائي الداخلي للورقة ليحافظ على امتصاص الماء من الخارج بالرغم من زيادة الجهد الأزموزي لوسط النمو. هذا التنظيم في الجهد المائي ربما هو عملية التأقلم التي بواسطتها يستطيع النبات تحمل ظروف الجهد الأزموزي القاسي.

جدول (8-2) توضيح النسبة المئوية لمقاومة الورقة ومحتوى الأوراق من البرولين لخمس أصناف من نبات الشعير النامية تحت جهد أزموزي (—20) بار لمدة 72 ساعة (1973 Singh et al.).

الصنف	البرولين ملغم / غم وزن جاف	مقاومة الورقة %
Prior	18.5	54
Ketch	15.6	41
Cl 3576	13.5	36
Cl 5611	11.3	27
Ashai- 2	7.5	16

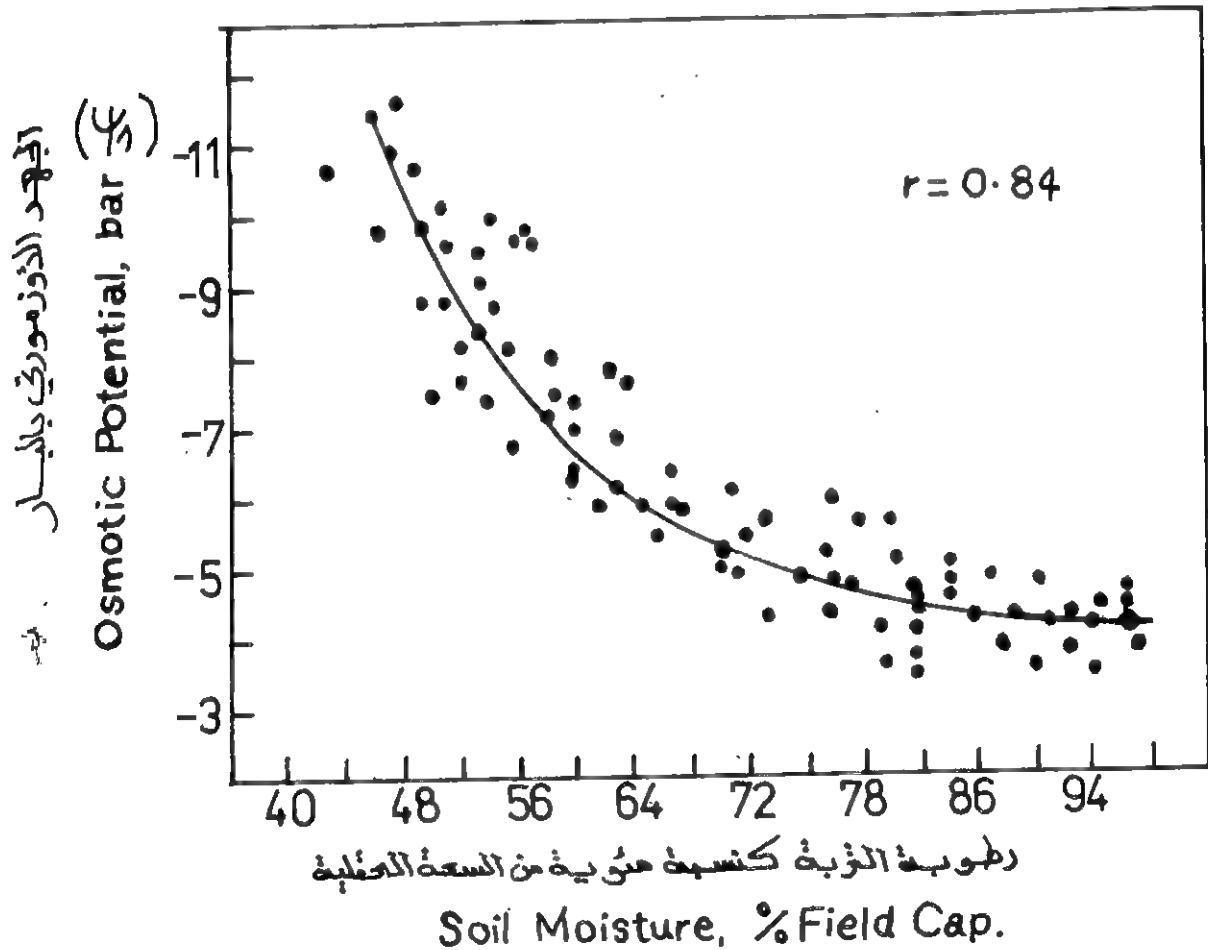
2. 13 - الأوجه التطبيقية للجهد المائي

1.13.2 - الجهد المائي والري

عندما تقل جاهزية الماء في الترب ويكون النتج عالياً فتكون النتيجة قلة الماء المتواجد في الخلايا وهذا يعني انخفاض قيمة الجهد المائي (ψ_w) وتصبح النتيجة الموازنة السالبة (أي فقدان الماء من قبل النبات أعلى من امتصاصه وتصبح قيمة الجهد المائي سالبة أعلى مما كان عليه سابقاً). وعندما يكون فقد الماء مفرطاً فإن النبات يذبل ويوقف الانخفاض الشديد في الجهد المائي في هذه الحالة نمو النبات. أن النتائج التي توصل إليها (Padurariu et al. 1969) توضح العلاقة بين المحتوى الرطوبي للتربة والجهد المائي للورقة (ψ_w) (شكل 2-12) حيث لوحظ أنه عند زيادة محتوى التربة المائي يقل تركيز المواد الذائبة في التربة وهذا يعني قلة الجهد الأزموزي لحلول التربة (ψ_s) وتكون المحصلة هي زيادة الجهد المائي للخلية (ψ_w) (حيث تكون القيمة السالبة اقل). وبما أن الجهد المائي يعتمد على معدل

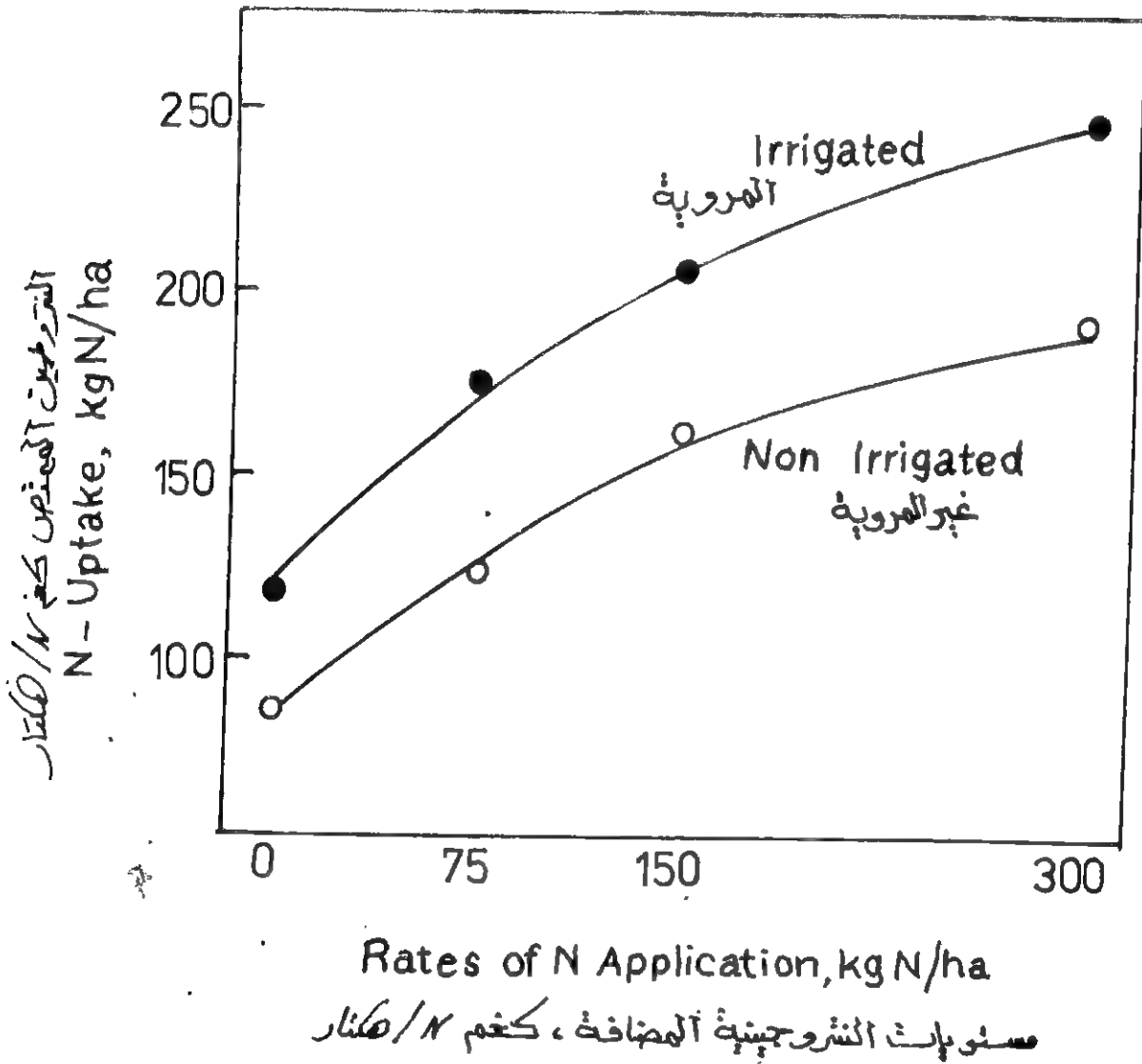
النتح فإنه يكون مختلفاً خلال اليوم الواحد . حيث أنه يكون أوطأ في منتصف النهار عندما يكون النتح عالياً والجهد المائي لعدد من النباتات يكون بمعدل (1- إلى 12) باراً .

ان الطريق السهل والمتعارف عليه لموازنة فقد الماء وتجنب انخفاض الجهد المائي هو الري . وقد اشار الباحثون أنفسهم بأنه يجب تجنب انخفاض الجهد المائي لورقة نبات الذرة الصفراء خلال فترة النمو الرئيسية عن (7- بار وبالنسبة للبنجر الذي هو أكثر حساسية للجهد المائي عن (5- بار .



شكل (12-2) تأثير مستوى رطوبة التربة على الجهد المائي لأوراق الذرة الصفراء (Paduraru et al, 1969)

ان تأثير الري الايجابي في الحاصل قد درسه (Decald and Pujol, 1973) كما في الشكل (2-9) الذي يوضح زيادة امتصاص النتروجين من قبل نبات الذرة الصفراء بزيادة اضافة السماد النتروجيني نتيجة لعملية الري. ان الامتصاص العالي للنتروجين في المعاملة المروية كانت موازية للزيادة في حاصل الحبوب.



شكل (2-13) يبين تأثير الري وزيادة مستويات النتروجين المضافة في الامتصاص الكلي من النتروجين لنبات الذرة الصفراء. (Decau and Pujol, 1933)

هذا وتختلف الاحتياجات المائية للنبات باختلاف مراحل نموه. فنبات الذرة الصفراء مثلاً يكون حساساً بصورة خاصة للجهد المائي في طور التزهير (Tasseling) وري الذرة الصفراء في مرحلة التزهير يلعب دوراً مهماً في زيادة الحاصل تحت الظروف التي يكون فيها المستوى الرطوبي للتربة منخفضاً كما يتضح

من الجدول (2-9) والذي يوضح ان زيادة مستوى النتروجين المضاف كان له تأثير مباشر في زيادة الحاصل ويكون التأثير اعلى في حالة مصاحبة الاضافة بالري .

جدول 2-9 : توضيح التداخل بين النتروجين المضاف والري على حاصل الحبوب للذرة الصفراء

(Buchner and Strum, 1971)

معدل النتروجين المضاف		حاصل الحبوب طن / هكتار	
كغم / هكتار		1969	1970
بدون ري	مع الري	بدون ري	مع الري
60	5.1	8.8	3.4
120	3.8	9.7	3.7
180	3.3	9.6	2.3
10.0			

2.13.2 - المواد المثبطة للنتح

أغلب المحاصيل الزراعية احتياجاتها عالية للماء . وإن الماء الذي يفقد بعملية النتح يفوق كمية الماء التي يحتاجها النبات في عمليات النقل وغيرها من العمليات الفسيولوجية . وبما أن امتصاص CO_2 في عملية التركيب الضوئي يحتاج الى ثغور مفتوحة فإن هذا يعني أن فقد الماء بعملية النتح قد يسبب غلق الثغور جزئياً ومؤدياً الى قلة التركيب الضوئي . وتحت الظروف المناخية الرطبة فإن ذلك لا يسبب أية مشكلة لأن النقص في ماء التربة قد لا يحدث خصوصاً عندما يكون محتوى التربة من الماء عالياً . أما في المناطق الجافة وشبه الجافة فيكون للجهد المائي كما سبق دور كبير في تحديد انتاجية المحاصيل الزراعية . لذلك فقد بذلت جهود مكثفة لتقليل عملية النتح نتيجة لغلغ الثغور جزئياً وليس غلقها بالكامل لأن ذلك بالطبع عملية غير مرغوب فيها لأتاحة الفرصة لتبادل الغازات وحدوث التركيب الضوئي لأجل تحقيق هذا الغرض فقد أستعملت مواد كيميائية تسمى مضادات النتح (antitranspirants) . إن هذه المواد استعملت لتقليل الاستهلاك المائي دون أن يكون لذلك تأثير على عملية التركيب الضوئي (Gale and Hagan, 1966) . لقد وجد (Waggoner and Zelitch, 1965) بأن المركب (monoethyl ester of decenyl succinic acid) بصورة خاصة له تأثير فعال في غلق الثغور . والعلاقة بين هذا المركب وعرض فتحة الثغور مبينة في الجدول (2-10) .

جدول (2-10) توضيح العلاقة بين تركيز المركب المثبط للنتح وغلق الثغور
(Fulton, 1967).

التركيز بالمول	اتساع فتحة الثغور بالميكرومتر
Zero	8.9
10^{-5}	8.2
10^{-4}	4.4
10^{-3}	3.9
10^{-2}	2.9

3.13.2 - معامل النتح Transpiration coefficient

يستعمل معامل النتح في الأغراض التطبيقية حيث يوضح كفاءة النباتات في استغلال الماء المتص في انتاجية هذه النباتات. ويمكن تعريف معامل النتح بأنه كمية الماء مقاسة باللترات التي تستهلك لانتاج كغم واحد من المادة الجافة. ويختلف معامل النتح باختلاف المحاصيل ويكون معامل النتح اعلى في النباتات ذات ميتابولزم C_3 Metabolism مما هو عليه في النباتات ذات ميتابولزم C_4 Metabolism كما يتضح ذلك من الجدول (2-11) ويلاحظ منه ان نبات المجت يستهلك كمية اكبر من الماء مقارنة بنبات الذرة الصفراء او الذرة البيضاء.

إن معامل النتح كمية غير مطلقة فهو عرضة للتغير حيث ان ظروف التربة والعوامل المناخية وكذلك تغذية النبات لها دور في ذلك فمثلاً عندما يكون التجهيز بالماء من التربة كافياً وزيادة عملية النتح نتيجة لانخفاض الرطوبة النسبية للهواء الجوي المحيط وارتفاع درجات الحرارة والضوء فإن معامل النتح يكون عالياً. كما وجد ان النباتات عندما تكون غير مجهزة جيداً بالعناصر الغذائية فإن معامل النتح يكون ايضاً مرتفعاً وهذا يعني ان قدرة النبات تصبح اقل كفاءة في استهلاك الماء في حالة التغذية غير الجيدة. فقد وجد (Mitscherlich and Beutels pacher 1938) في تجربة حقلية على البطاطا ان البوتاسيوم له تأثير ايجابي على استهلاك الماء والذي يرجع الى تقليل الجهد الازموزي (ψ_s) لخلايا النبات وبذلك يقلل من فقدان الماء بعملية النتح حيث يقلل من فتح الثغور جدول (2-12).

جدول (11-2) يبين معامل النتج لمحاصيل مختلفة
عن : (Shantz, quoted by Romer and Scheffer, 1959)

277	الذرة البيضاء
349	الذرة الصفراء
443	البنجر السكري
491	المنطقة الربيعية
527	الشعير
575	البطاطا
583	الشوفان
634	الشيلم
698	البرسيم الابيض
783	الكنتان
844	الجت

جدول (12-2) يبين الحاصل ومعامل النتج للبطاطا وعلاقة ذلك بالتسميد
عن : (Mitscherlich and Bentels pacher, 1938)

التسميد	الحاصل / كغم مادة جافة / م ² معامل النتج	
بدون تسميد	450	693
سماد معدني	928	357
سماد الاصطبل العضوي	741	428
سماد معدني + سماد الاصطبل العضوي	1049	320



الأسس التطبيقية في استخدامات الاسمدة

1.3 - دورات العناصر الغذائية في الطبيعة

Nutritional Elements cycles in Nature

1.1.3 فكرة عامة : -

المعروف ان جميع الكائنات الحية من نباتات او حيوانات راقية او واطئة تتكون من عدد من الاجهزة والتي تتناسق وتتعاون معاً من اجل هدف واحد الا وهو الحياة وكيفية المحافظة على ديمومتها واستمرارها . إن كل جهاز من هذه الاجهزة مكون من عدد من الاعضاء والتي كل منها يختص باداء والنجاز عمل ما وهذه الاعضاء تتكون من انسجة والتي كل منها يتألف من الملايين من الخلايا .

غير أن الخلايا تتكون من العديد من المركبات العضوية وغير العضوية والتي تتكون أساساً من العناصر الغذائية الضرورية سواء كانت فلزية او لافلزية والتي تدخل مباشرة او غير مباشرة في حياة هذه الكائنات . فالخلايا هي المسؤولة عن القيام بمختلف التفاعلات الحيوية الضرورية واللازمة لنمو وتطور واستمرار هذه الاحياء . وهناك علاقة وثيقة بين نمو النباتات وتغذيته والحركة الدورانية المستمرة للعناصر الغذائية ومركباتها في الطبيعة ، وبعبارة اخرى فإن هناك ارتباطاً وثيقاً بين نمو النباتات وتطورها وديمومتها وبين المحيط الحي للكانات الحية الاخرى جميعها والمسمى بالمحيط الحيوي (Biosphere) والمحيط غير الحي الذي تعيش فيه تلك الكائنات غير الحية ويطلق على هذين العالمين المحيطين (المحيط الحيوي والمحيط غير الحي) بعالم البيئة (Ecosphere) .

ان المحيط غير الحي يتكون من الصخور والمعادن والمكونة للقشرة الارضية المسماة الليتوسفير (Lithosphere) وكذلك من الغلاف الجوي (Atmosphere) والمكون من النيتروجين والاكسجين وغازات اخرى بالاضافة الى المحيط المائي (Hydrosphere) والذي يغطي حوالي 70% من سطح الكرة الارضية المتمثل في المحيطات والبحار والبحيرات والانهار والمستنقعات والاهوار والجليد والمياه الموجودة في الصخور والتربة علاوة على بخار الماء الموجود في الغلاف الجوي والذي يتكاثف فيما بعد وينزل ثانياً الى سطح الكرة الارضية على شكل امطار او ثلوج او حبوب وهذا يعني ان للماء ايضاً دورة في الطبيعة والتي يطلق عليها الدورة المائية (Hydrologic cycle).

ان التركيب الكيميائي لكل محيط من المحيطات السابقة غير ثابت ويتغير من مكان الى اخر الا ان الغلاف الجوي (Atmosphere) ولو انه يتغير بالزيادة مع الارتفاع الا انه يظل ثابتاً تقريباً في الطبقة التي سمكها (ارتفاعها) 20 كم فوق سطح التربة وهذه الطبقة تسمى بالتروبوسفير (Troposphere) والجدول (1-3) يبين معدل تركيب طبقة (Troposphere).

جدول (1-3) توضيح معدل تركيب طبقة (Troposphere) عن : (Mason, 1950). هناك تغير حيث الزيادة مع الارتفاع. (20₁₀)

ت	الغاز	التركيب بالحجم جزء بالمليون	التركيب بالوزن جزء بالمليون	الكتلة الكلية بالجيوغرام (20 ₁₀)
		PPM	PPM	
1	النيتروجين	780900	755100	38.648
2	الاكسجين	209500	231500	11.841
3	الاركون	9300	12800	0.655
4	ثاني اوكسيد الكربون	300	460	0.0233
5	النيون	18	12.50	0.000636
6	الهيليوم	5.2	0.72	0.000043
7	الميثان	1.5	0.90	0.000146
8	الكربتون	1.0	2.90	0.000040
9	اوكسيد النتروز	0.50	0.80	0.000002
10	الهيدروجين	0.50	0.03	0.000031
11	الاوزون	0.40	0.60	
12	الزينون	0.08	0.36	0.000018

والجدول (2-3) يبين العناصر الكيميائية السائدة في طبقة (Lithosphere) لعمق عشرة اميال للقشرة الارضية في حين ان الجدول (3-3) يوضح تركيز الايونات في ماء البحر مقارنة بتركيزها في ماء الانهار والبحيرات بالمليمول (mM).

جدول (2-3) توضيح للعناصر الكيميائية السائدة في طبقة الـ (Lithosphere) لعمق 10 اميال للقشرة الارضية عن : (Mason, 1958)

التسلسل	العنصر	النسبة المئوية بالوزن
1	الأكسجين	46.60
2	السليكون	27.72
3	الألمنيوم	8.13
4	الحديد	5.00
5	الكالسيوم	3.63
6	الصوديوم	2.83
7	البوتاسيوم	2.59
8	المغنيسيوم	2.09

جدول (3-3) يبين تركيز الايونات في مياه البحر مقارنة بتركيزها في مياه الانهار والبحيرات بالمليمول (mM)

الايون	ماء البحر	ماء الانهار والبحيرات
Na ⁺	457	0.39
K ⁺	9.7	0.36
Ca ²⁺	10	0.52
Mg ²⁺	56	0.21
CL ⁻	536	0.23
SO ₄ ²⁻	28	0.21
HCO ₃ ⁻	2.3	1.1

ويذكر أن نتائج مياه البحر المأخوذة عن (Golberg, 1963) قد حسبت على أساس الكتلة الكلية للعنصر وبالنسبة للكربون للكربونات . اما نتائج مياه الانهار والبحيرات فهي المعدل لشمال امريكا (Goldman and Wetzel, 1966).

بيد أن هناك تداخلا بين نمو النبات وتطوره وخصوبة التربة ومن هذه العلاقة تلعب جذور النبات دوراً مهماً من حيث وظيفتها في امتصاص وانتقال ايونات العناصر الغذائية الضرورية لحياته . أن العناصر الغذائية تصبح جاهزة في محلول التربة نتيجة لعمليات التجوية المعدنية للصخور والمعادن وكذلك لعملية المعدنة للمادة العضوية . ان كلا من هاتين العمليتين بالإضافة الى جاهزية العناصر الغذائية المعدنية قد تحفز نتيجة ما يفرز من قبل الجذور من مواد عضوية أو ما يفرز من ايونات الهيدروجين والتي بإمكانها مهاجمة صور العناصر غير الجاهزة وأذابتها وتحويلها الى صور صالحة للامتصاص بواسطة جذور النبات . كما أن جذور النبات لها دور مهم من حيث تغلغلها وتفرعها للحصول على العناصر الغذائية مثل الفسفور والبوتاسيوم وغيرها البطيئة الحركة في التربة . ولذلك ليس من المستغرب بأن من الصفات الهامة للتربة الخصبة هو أتاحتها لتكوين نظام جذري سليم وكثيف ومتغلغل ومتشعب في طبقات التربة السطحية لزيادة سطوح الامتصاص للجذر .

وبعد نهاية النمو وعند تحلل البقايا النباتية بفعل أحياء التربة فإن العملية تعكس وتتحلل هذه العناصر ثانية الى التربة .

وبما تجدر الإشارة إليه أنه ليس بالضرورة أن كل العناصر الغذائية التي استهلكت من قبل النبات يجب ان تتحرر وتنفرد الى التربة في نفس السنة . ففي أشجار الغابات مثلاً فان ما يقرب من 10-20% من الكمية الممتصة من العناصر الغذائية تحفظ في لحاء الأشجار في فترة الشتاء لكي تستعمل في الربيع . كما يجب ان يلاحظ ان بعض العناصر قد تفقد من النباتات النامية بواسطة الغسل الناتج من المطر والتي تعود بذورها الى التربة . والعناصر التي تكون عرضة للفقد بناء المطر بسهولة هي البوتاسيوم والصوديوم والكلوريد والنترات والفسفور وخاصة من الاوراق الهرمة (Senescent leaves) .

أن تحول العناصر الغذائية في دور النبات والتربة يسيطر عليها عوامل عديدة ومن أهم تلك العوامل هي شدة التجوية لمكونات التربة وطبيعة مادة الاصل ومعدل غسل العناصر الغذائية من طبقة التربة السطحية . وعندما يكون معدل

الغسل عالياً وشدة التجوية منخفضة فإن العناصر تغسل بمعدل أسرع من معدل امتصاصها وهنا تكون الموازنة الغذائية سالبة وتصبح التربة حامضية أكثر نتيجة لغسل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والنترات والبيكاربونات. ومثل هذه التربة تكون فقيرة بمحتواها من العناصر الغذائية وتتميز بانخفاض درجة تفاعلها وفي هذه الحالة تتميز التربة بقلّة جاهزية الفسفور فيها مع وجود مستويات عالية من الألومنيوم والمنغنيز الذائب وتعطيل أو تخفيض كفاءة أحياء التربة المثبتة للنيتروجين الجوي وكذلك عدم أو قلة حدوث عملية النترية (النترجة). أن تربة البدزول (Podzol) هي نموذج لمثل هذا النوع من التربة.

أما في حالة الموازنة الموجبة بمعنى انخفاض عملية الغسل وزيادة شدة التجوية فهنا تتكون تربة خصبة غنية بالعناصر الغذائية ومن أمثلة هذه التربة هي تربة الشيرنوزم (Chernozem) السوداء.

وبين هذين النموذجين للتربة هناك تربة عديدة تمثل حالة وسطية فهي ليست غنية كما أنها ليست فقيرة بالعناصر الغذائية.

ومما يجدر ذكره أنه ليس كل التربة التي تظهر الموازنة الموجبة للعناصر الغذائية يجب أن تكون تربة خصبة. فمثلاً قد يحدث تجمع للاملاح إلى درجة السمية كما هو الحال بالنسبة للتربة الملحية أو التربة القلوية.

أن تطور الزراعة أدى إلى حدوث عدم انتظام موازنة العناصر الغذائية في التربة. ويعالج عدم الانتظام للتوازن الحاصل بين العناصر الغذائية الداخلة إلى التربة والممتصة من قبل النبات بإضافة الأسمدة سواء كانت كيميائية أو عضوية. بالإضافة إلى ذلك فإن استعمال الأسمدة أدى إلى تحسين خصوبة العديد من التربة والتي كانت أو أصبحت ضعيفة الخصوبة وذات قيمة زراعية محدودة أو واطئة أو ذات مردود اقتصادي قليل.

2.1.3 - اكتساب وفقد التربة للعناصر الغذائية

إن اكتساب التربة للعناصر الغذائية يكون عن طريق:

- (أ) تحرر العناصر الغذائية وأنفرادها إلى التربة عن طريق التجوية والتعدين.
- (ب) إضافة الأسمدة بنوعها العضوي والكيميائي.
- (ج) تثبيت النيتروجين الجوي.
- (د) تجهيز العناصر الغذائية عن طريق المطر والثلوج.

أما الفقد الرئيسي للعناصر الغذائية فيكون عن طريق :
(أ) أمتصاص العناصر الغذائية من قبل النباتات .

(ب) عملية الغسل .

(ج) التطاير لـ (NH_3 , N_2 , N_2O)

(د) التعرية

وسوف نتطرق لرسم دورات العناصر الغذائية في الطبيعة ، في الفصول اللاحقة .

2.3 - أنواع الاسمدة وموعد وطريقة إضافتها :

في كثير من الترب وفي حالات عديدة فأن مقدار ما يزال من العناصر الغذائية منها بواسطة أمتصاص النباتات لها خصوصاً عند استخدام نظام الزراعة الكثيفة والاصناف المحسنة والمنتخبة ذات الانتاجية العالية والنوعية الجيدة أو مقدار ما يفقد من هذه الترب بعمليات الغسل أو التطاير على شكل غازات (N_2 , NO_2 , NH_3) أو التعرية يفوق كثيراً ما يضاف لهذه الترب من عناصر غذائية عن طريق الشجوية أو تعدين المواد العضوية او ما يضاف للترب من نروجين وكبريت بفعل أحياء التربة او ما ينزل عليها مع ماء المطر والثلج . ومن هنا يتبين وجود موازنة سالبة مالم تعالج الحالة بأضافة الاسمدة المختلفة

1.2.3 - الاسمدة العضوية

وتشمل مخلفات النبات والحيوان والانسان والتي تتضمن مخلفات الحقل بعد الحصاد ومخلفات الحيوانات والطيور والسماد الاخضر والاسمدة المخمرة (الدمن) (Compost) بالاضافة الى مخلفات الانسان سواء كانت صلبة او سائلة (القمامة والمجاري) .

جدول (3-4) يوضح محتوى الاسمدة العضوية من العناصر الغذائية
عن : (Mengel and Kirkby, 1982)

نسبة الرطوبة	N	P	K	Ca	Mg	نسبة العناصر في المادة الرطبة
76	0.50	0.11	0.54	0.42	0.11	سماد الحقل الحيواني
93	0.31	0.07	0.32	0.11	0.04	مخلفات الابقار
97	0.20	0.10	0.20	-	-	مخلفات الخنازير
55	0.83	0.22	0.04	0.07	-	مخلفات المجاري

أن الجدول (3-4) يوضح ان محتوى الاسمدة العضوية من العناصر الغذائية يختلف طبقاً لمصدرها وكذلك حسب محتواها المائي. كما يتضح ان سماد الحقل الحيواني يكون فقيراً بالفسفور وذلك لأحتوائه على نسبة عالية من القش. كما أن مخلفات المجاري تكون فقيرة بالبوتاسيوم لتعرضه للفقد أثناء تحضيرها كسماد.

إن قيمة الاسمدة العضوية لا تقدر فقط بمقدار محتواها من العناصر الغذائية ولكن جاهزية العناصر للنباتات تلعب أهمية كبيرة. وهذه النقطة يمكن الاستدلال عليها من خلال القيام بالتجارب الحقلية. واغلب النتروجين في الاسمدة العضوية

يوجد على شكل مركبات عضوية، ففي البول يوجد على هيئة يوريا وفي مخلفات الطيور على شكل حامض اليوريك وكلاهما يكون جاهزاً للتغذية النباتية. كما أن سماد الحقل الحيواني يكون أكثر مقاومة لعملية التحلل ويقدر (Cooke 1972) أن ثلث النتروجين فقط يكون سهل التحرر، والنتروجين المتبقي يظل لفترة طويلة في التربة بدون تغير والفسفور في السماد الحقل الحيواني يوجد بشكل عضوي وان نصف الكمية تصبح جاهزة للنبات وبسرعة. أما بالنسبة للبوتاسيوم فانه يذوب تقريباً بالماء وبالتالي فإنه يكون أكثر جاهزية من عنصري النتروجين والفسفور. وطبقاً لما جاء به (Cooke 1972) فإن 25 طن/ هكتار من سماد الحقل الحيواني غالباً ما تجهز ما يقارب من 40 كغم نتروجين و 20 كغم فسفور و 80 كغم بوتاسيوم للمحصول في السنة الاولى.

٦

2.2.3 - الاسمدة الكيماوية (المعدنية)

وهي عبارة عن مواد أو مركبات طبيعية أو مصنعة ويقدر العلماء أن 50% من زيادة الانتاج في السنوات الاخيرة قد تعود الى استخدام الاسمدة الكيماوية والتي وصل انتاج العالم منها عام 1983 الى 63.4 مليون طن من النتروجين و 33 مليون طن من P_2O_5 و 24.4 مليون طن من K_2O . ويقدر العلماء الزيادة الحاصلة في استخدام الاسمدة الكيماوية من عناصر (K,P,N) بحوالي 92%, 56%, 37% على التوالي خلال السنوات (1970-1982) (FAO, 1983). وتشمل الاسمدة الكيماوية ما يأتي:

1.2.2.3 - الاسمدة النتروجينية :

أ) الاسمدة الأمونية

وهي الاسمدة المحتوية على نتروجين في صورة الامونيوم وهذه تمسك بواسطة غرويات التربة وغير معرضة لفقد بعملية الغسل . وهي سرعان ما تتحول بفعل احياء التربة الى نترات بواسطة عملية النترجة (Nitrification) . والاسمدة الامونية ذات تأثير فسيولوجي حامضي . ومن هذه الاسمدة كبريتات الامونيوم $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ، كلوريد الامونيوم (NH_4Cl) .

ب) الاسمدة النتراتية

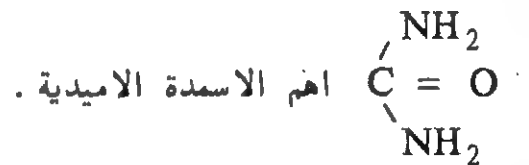
وهي الاسمدة المحتوية على نترات . وإن الجزء الاعظم من احتياجات النبات من النتروجين يمتص على هذه الصورة . والنترات عرضة لفقد بالغسل أو بعملية (Denitrification) وهي ذات تأثير قلوي ومن الاسمدة النتراتية نترات البوتاسيوم ، نترات الكالسيوم ونترات الصوديوم ونترات المغنيسيوم .

ج) خليط من الاسمدة الامونية والنتراتية

ومنها بنترات الامونيوم ، كبريتات نترات الامونيوم ونترات الامونيوم والكالسيوم .

د) الاسمدة الاميدية

وهي عبارة عن مركبات عضوية حاوية على النتروجين وهي ليست جاهزة مباشرة للنبات عند اضافتها للتربة بل يجب أن تتحول اولاً الى امونيوم وهذه بدورها تتحول الى نترات . وهي قابلة للذوبان في الماء ولذلك يجب أخذ الاحتياطات اللازمة عند اضافتها حتى لا تتعرض للفقد بالغسل وتعد اليوريا



وهي ذات تأثير حامضي وتحتوي على (46% N) .

هـ) الاسمدة النتروجينية السائلة

ومنها الامونيا والمحتوية على 82% نتروجين وهذه توضع بحدود 10-20 سم تحت سطح التربة خوفاً من تعرضها لفقد بالتطاير . والامونيا قد تكون مائية أو لامائية Aqua or anhydrous, ammonia ، وهي ذات تأثير قاعدي .

موعد وطريقة الاضافة :
تضاف قبل او عند الزراعة إما نثراً (Broad Cast) او على جانب الخط أي
تلقياً بجانب النبات او في حفر (Band dressing) او بالرش (Foliar application).
ونظراً لسهولة فقد الاسمدة النتروجينية فإنها غالباً ما تجزأ الى عدة دفعات
حيث تضاف الذفعة الاخيرة قبل فترة الازهار بفترة وجيزة لغرض تحسين نوعية
المحاصيل الزراعية .

رفع كفاءة الاسمدة النتروجينية
لزيادة كفاءة الاستفادة من الاسمدة النتروجينية المضافة ولتقليل الفقد منها
سواء بعملية الغسل أو التطاير أو فقد النتروجين على شكل (N_2 , NO_2) بعملية
(Denitrification) فقد اتبعت الاساليب الاتية : -

أ) استخدام اسمدة كيميائية نتروجينية بحيث يتحرر منها النتروجين ببطء .
(Slow release nitrogen fertilizers)
مثل Ureaformaldehyde والمحتوية على 38-40% N وكذلك (IBDU) Isobutylidene di-Urea والتي هي عبارة عن خليط من اليوريا وال
Isobutyraldehyde وهذا المركب يحتوي على 32% N وتقدر درجة ذوبانه
بحدود 0.1-0.01 غم / 100 مل .

ب) الاسمدة المغلفة (Coated fertilizers)
مثل Sulphur coated Urea (SCU) والمحتوية على 15-19% S و
30-37% N حيث تستخدم بحدود 2% من الوزن الكلي لهذا السماد المواد
الشمعية أو مادة السولي اثيلين وزيت .

وقد بينت التجارب التي اجريت في الولايات المتحدة والفلبين والهند ومناطق اخرى أن سماد الـ (SCU) قد استعمل بنجاح في حقول الرز والمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر والاناناس في حين لم يكن فعالاً للمحاصيل ذات فترة النمو القصيرة مثل الذرة الصفراء والحنطة ... الخ .

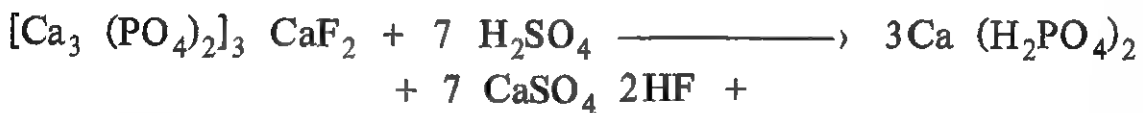
(ح) وجد أن صناعة اليوريا بشكل حبيبات كبيرة (اكثر من 3 غم)
(Adjusted particle size)
كان فعالاً لتقليل الفقد بالتطاير أو بعملية النتجة ونزع النتروجين (Nitrification and Denitrification) .

(د) استخدام مثبطات عملية النتجة (Nitrification inhibitors)
وجد أن استخدام المواد المثبطة لعملية النتجة تزيد من كفاءة السماد النتروجيني المستخدم لتقليل فقد النترات بعملية الغسل او بعملية نزع النتروجين (Denitrification) .

ومن امثلة هذه المواد مادة (N-Serve) أو Nitrapsin والتي هي عبارة عن 2-Chloro -6- (trichloromethyl) -pyridine وتقدر درجة ذوبانها بحدود 0.004 غم / 100 مل ويضاف منها بحدود 0.15-0.5 كغم / ha .

2.2.2.3 - الاسمدة الفوسفاتية

(أ) السوبرفوسفات الاحادي (Single Superphosphate (SSP)
ويحتوي من 17-20% P_2O_5 ويصنع باضافة الكبريتيك الى صخر الفوسفات (الاباتيت ، Apatite) طبقاً للتفاعل الآتي :



وهو يحتوي ايضاً على حوالي 16% S وتقدر درجة ذوبانه بحدود 90% ، وهو ذو تأثير حامضي ويفضل اضافته تلقياً بعيداً عن البذور .

(ب) السوبرفوسفات الثلاثي (Triple Superphosphate (TSP)
ويصنع باضافة حامض الفسفوريك الى صخر الفوسفات ويحتوي على 44-52% P_2O_5 كما انه يحتوي على كمية قليلة من الكبريت تقدر بحوالي 1% .

ج) خبث الحديد Basic slag

وهو ناتج من مخلفات صناعة الحديد والصلب ويحتوي على P_2O_5 8-18% ، وهو عبارة عن فوسفات الكالسيوم والسليكون ويستخدم غالباً بنجاح في الترب الحامضية وللمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر .

د) صخر الفوسفات rock phosphate

ان استخدامه مباشرة يتطلب طحنه وتنعيمه لزيادة امكانية ذوبانه في التربة . وهو متعادل ويقدر محتواه من P_2O_5 29-37% ومحتواه من الكالسيوم بحدود CaO 35-38%

هـ) فوسفات الكالسيوم الاحادي والثنائي



تستخدم حالياً بكميات قليلة بسبب ارتفاع تكاليف صنعها وهي تنتج من تفاعل صخر الفوسفات مع حامض الهيدروكلوريك HCl ثم اضافة الكلس لغرض التعجيل من عملية الترسيب . وهو يحتوي على P_2O_5 35% . ان فوسفات الكالسيوم الثنائي اقل ذوباناً من فوسفات الكالسيوم الاحادي ولذلك ينصح باستخدامه للمحاصيل ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر او في حالة الترب الحامضية .

موعد وطريقة الاضافة:

تضاف الاسمدة الفوسفاتية قبل الزراعة ويجب ان تخلط جيداً بالتربة وقد تضاف تلقياً بالقرب من النباتات في جور والاسمدة الفوسفاتية تضاف عادة دفعة واحدة ولا تجزأ كما في حالة السماد النتروجيني . ونظراً لبطء تحركها في مقد التربة وعدم تعرضها للفقد بعملية الغسل فيمكن اضافتها للبساتين في الخريف او حتى في الشتاء .

أما صخر الفوسفات فيكون مناسباً للترب ذات درجة التفاعل الاقل من (5.5) وفي حالة الترب المتعادلة او القلوية يكون غير مناسب او غير جاهز للنباتات كما ان صخر الفوسفات لزيادة تماسه مع الجذور وحببيات التربة يجب ان يضاف نثراً ثم يقلب ويخلط جيداً بالتربة ولا ينصح باضافته تلقياً ، كما يجب اضافته قبل الزراعة بفترة لزيادة الفائدة منه .

3.2.2.3 - الاسمدة البوتاسية

تصنع الاسمدة البوتاسية من المواد الخام الحاوية على عنصر البوتاسيوم وتعتبر كندا ، الولايات المتحدة ، الاتحاد السوفيتي ، فرنسا المانيا الاتحادية واسبانيا اهم الدول التي تتواجد فيها خامات البوتاسيوم . واهم المعادن البوتاسية هي Sylvinite وهي خليط من (السلفيت (KCl) ، والهاليت (NaCl) والكارناليت (KCl. MgSO₄. 3H₂O) والكانيت (KCl Mg Cl₂. 6H₂O) Carnallite ولانكبانيت (K₂SO₄. 2Mg SO₄) واخيراً KNO₃ ، اما اهم الاسمدة البوتاسية فهي كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم وفوسفات البوتاسيوم المغنيسيوم . وهناك املاح تستخدم في حالة المزارع الغذائية مثل K₂HPO₄ أو K₂HPO₄ وهي كمصدر لعنصري البوتاسيوم والفسفور .

ان سماد كلوريد البوتاسيوم يحتوي على 60% K₂O وهو متعادل ونظراً لمسك البوتاسيوم بواسطة غرويات التربة فهو غير عرضة للفقد بعملية الغسل وهو صالح لكل انواع التربة ماعدا التربة الملحية كما انه مناسب لجميع المحاصيل ماعدا التبغ والبطاطا . لان الكلور له تأثير سلبي على نوعيتها ولذا في هذه الحالة يفضل استخدام كبريتات البوتاسيوم .

وفي حالة التربة الرملية او المناطق ذات الامطار الغزيرة او التربة الفرقة (عند زراعة محصول الرز) ينصح بتجزئة السماد البوتاسي خوفاً من عملية الفقد بالغسل . اما كبريتات البوتاسيوم فتحتوي على 48-52% K₂O , 18% S ويفضل استخدامها لمحاصيل الخضر والفاكهة والتبغ والبطاطا . كما تفضل اضافتها في التربة الملحية وكذلك في تجارب البيوت الزجاجية خوفاً من خطر تجمع الكلور والذي يشكل مشكلة اضافية للتربة الملحية ولشدة حساسية النباتات في البيوت الزجاجية للسمية بانيون الكلوريد .

وبالنسبة لكبريتات البوتاسيوم والمغنيسيوم (K₂SO₄. MgSO₄. 6H₂O) تحتوي على 22-30% K₂O , 16-23% MgO وينصح باستخدامها في التربة الحامضية وللمحاصيل ذات الاحتياجات العالية من المغنيسيوم مثل البطاطا واشجار الفاكهة والخضروات واشجار الغابات وخاصة في حالة وجود نقص بالمغنيسيوم في التربة المزروعة بالمحاصيل السابقة .

أما الكاينيت Kainite

فيحتوي على 14-22% K_2O وكذلك على 46% Cl وتأثيره قاعدي ويفضل استخدامه لمحصول البنجر السكري .

4.2.2.3 - الاسمدة المركبة Complex fertilizers

وهي الاسمدة المحتوية على أكثر من عنصر غذائي. وأكثر الاسمدة المركبة انتشاراً هي فوسفات الامونيوم ، فوسفات البوتاسيوم ، Nitrophosphate واسمدة الـ NPK ومنها N,K , K,P , N,P , NPK وقبل التطرق الى الاسمدة المركبة يستحسن توضيح بعض المصطلحات المتعلقة بها :

أ) درجة السماد Fertilizer grade

ويقصد بها النسبة المئوية المحتوى العناصر الغذائية من هذا السماد فلو فرض لدينا سماد مركب 10-10-20 فهذا يعني ان كل 100 كغم من هذا السماد تحتوي على 20 كغم N كلي ، 10 كغم P_2O_5 و 10 كغم K_2O .

ب) نسبة السماد Fertilizer ratio

وتعني نسبة العناصر الغذائية في السماد ، ففي المثال السابق 10-10-20 فان نسبة عناصر $K-P-N$ هي 1:1:2 .

ج) المادة المألئة Filler

وهي مادة غير غذائية مثل الرمل أو الجير .

د) المادة المحسنة Conditioner

وهي المادة المضافة للسماد لتحسين الظروف الفيزيائية للسماد .

هـ) التغليف Coating

وتصنف المواد مثل الغبار أو الطين لغرض تغليف حبيبات السماد لمنع تسرب الرطوبة وبالتالي منع تحجر السماد وتماسكه .

مزايا الاسمدة المركبة :

أ) تحتوي على أكثر من عنصر غذائي في عبوة واحدة لذلك يكون أقل كلفة سواء في عمليات النقل أو التخزين أو الاضافة .

- (جـ) توفير في الوقت والجهد المبذول في الحقل .
 (د) أكثر ضماناً لعملية التوازن الغذائي وبالتالي ضمان الحصول على غلة كثيرة ذات نوعية جيدة وبتكاليف أقل .
 (هـ) يمكن إضافة العناصر الغذائية الصغرى الى الاسمدة المركبة في المصنع وهذا من شأنه تسهيل مهمة المزارعين للحصول عليها وبالتالي تفادي ظهور اعراض نقصها والذي ينعكس بلا شك سلبياً على الحاصل ونوعيته .
 ومن الأسمدة المركبة ما يأتي :

(أ) Monoammonium phosphate (MAP)

ويحتوي من P_2O_5 %52-55 ويذوب كلياً في الماء كما يحتوي على N%12-11 .
 ويحصل عليه كالآتي :



(ب) Diammonium phosphate (DAP)

ويحتوي على P_2P_5 %46 , N%18 ويصنع كالآتي :



(جـ) Ammonium Phosphate Sulphate (APS)

ويحتوي على 60% كبريتات الامونيوم ، 40% فوسفات الامونيوم وإن النتروجين في هذا السباد يقدر بـ N%16 كما أنه يحتوي على P_2P_5 %20 .

(د) Urea Ammonium Phosphate (UAP)

ويحصل عليه بتفاعل الامونيا (NH_3) مع حامض الفسفوريك وهو يحتوي على نسبة مختلفة من N , P_2P_5 .

(هـ) Ammonium Polyphosphates (APP)

يوجد الفسفور فيه في صورة فوسفات الامونيوم الاحادي ($NH_4H_2PO_4$) وقد يضاف له العناصر الغذائية الصغرى ويكاد يقتصر استخدامه في الولايات المتحدة الامريكية ويوجد منه عدة انواع مثل 0-30-11 , 0-40-12 , 0-27-8 , 0-61-15 وهو يذوب كلياً في الماء . ويمكن استخدامه لكل الترب ولكافة انواع المحاصيل وفي البداية يكون غير جاهز للنبات ويجب أن يتحول أولاً الى اورثوفوسفات في التربة قبل امتصاصه بواسطة جذور النبات .

و) Nitrophosphates

ويحضر بمعاملة صخر الفوسفات مع خليط من احماض النترك والفسفوريك او الكبريتيك . كما أنه يغلف لتقليل دخول الرطوبة ومنعه من التصلب والتآسك . وهو يذوب كلياً في حامض الستريك في حين تقدر درجة ذوبانه في الماء من صفر الى اكثر من 80% (FAO, 1948) .

ويذكر أن السماد الذي تبلغ درجة ذوبانه 60% يكون كافياً للنباتات ذات فترة النمو الطويلة مثل قصب السكر وكذلك يكون مناسباً للترب الحامضية ولكنه يكون غير مناسب لحاصيل الحبوب والبطاطا ذات فترة النمو القصيرة .

ز) NPK Complex Fertilizers

وهو سماد مركب يحتوي على عناصر K, P, N ويمكن الحصول عليه بأضافة فوسفات الامونيوم و Nitrophosphate ويمكن اضافة زيادة من البوتاسيوم وأذا مادعت الضرورة يمكن اضافة النتروجين في صورة الامونيوم أو النترات أو اليوريا .

ويتميز هذا السماد بسهولة التحضير وبقلة الكلفة والاهم من ذلك هو اضافة العناصر الغذائية K, P, N في عملية واحدة . علاوة على ضمان عملية التوازن الغذائي لهذه العناصر الثلاثة .
وبما يجدر الاشارة اليه انه يمكن الحصول على اسمدة مختلطة قد تحتوي على عنصر غذائي او اكثر في اثناء عملية التصنيع قبل النهائية . كما يمكن الحصول على الاسمدة المختلطة بصورة مساحيق أو في صورة حبيبات او حتى في صورة اسمدة مختلطة سائلة . وبالطبع فان الاسمدة المختلطة تختلف عن الاسمدة المركبة خصوصاً في عملية التحضير او التصنيع .

3.3 - المبادئ الاساسية لاستخدام الاسمدة من الناحية التطبيقية :

الاسمدة النتراطية اي الحاوية على نترات مثل نترات البوتاسيوم او نترات الصوديوم او نترات الكالسيوم او نترات المغنيسيوم تكون ذات تأثير قاعدي ولذلك فهي لاتصلح لظروف العراق ويفضل استعمالها في الترب الحامضية مثل الترب الاوربية ، في حين ان الاسمدة الامونية تكون ذات تأثير حامضي لذلك ينصح باستخدامها في الترب القاعدية مثل الترب العراقية والتي يتراوح درجة تفاعلها من (7.4-8.2) حسب محتواها من كاربونات الكالسيوم .

أما سماد نترات الامونيوم والذي يحتوي على 33% N فله تأثير متعادل ويحتوي على النترات (NO_3^-) والامونيوم (NH_4^+) يتصهما النبات بنفس الكفاءة خصوصاً تحت الظروف المتعادلة (6.8 PH) في حين تمتص النترات بدرجة أعلى في الظروف الحامضية وصورة الامونيوم تمتص بصورة افضل تحت الظروف القاعدية . وغالباً ما يستخدم سماد نترات الامونيوم للعلاج السريع في حالة ظهور نقص النتروجين كما يستخدم بكثرة في حالات المزارع الغذائية لتفادي التغير في pH المحلول المغذي .

وما يذكر أن الاسمدة النتراتية نظراً لقابليتها للاشتعال أو الانفجار فيجب التعامل معها بحذر أثناء الخزن أو النقل أو الاستخدام .

أما الاسمدة البوتاسية والفوسفاتية والتي من الصعب تعرضها للفقد بعملية الغسل في الترب الثقيلة والمتوسطة النسجة فيمكن اضافتها في الخريف وتخلط جيداً بالتربة المعدة للزراعة في الربيع أو بالنسبة لأشجار الفاكهة . كما أنه في الترب الرملية يفضل تجزئة السماد البوتاسي خوفاً من الفقد بعملية الغسل .

وبالنسبة لمحاصيل الحبوب والخضر فيمكن اضافتها مع الدفعة الاولى من السماد النتروجيني قبل الزراعة ، وفي حالة الزراعة في خطوط او مروز فيمكن اضافتها تلقياً بجوار النباتات او حتى في حفر قريبة من البذور او النباتات ثم تغطيتها بالتربة ، كما في حالة محاصيل الذرة الصفراء ، القطن ، البنجر السكري الخ ، أما بالنسبة للاسمدة النتروجينية ونظراً لتعرضها للفقد بعمليات الغسل او التطاير فإنه يفضل تجزئة السماد النتروجيني الى دفعات تتراوح من 2 الى 4 بحيث تضاف الدفعة الاخيرة قبل الازهار بفترة وجيزة لغرض تحسين نوعية المحاصيل الزراعية .

وبصورة عامة للترب القليلة الخصوبة يفضل اضافة الاسمدة بطريقة التقليم سواء في خطوط او في حفر قريباً من النباتات . هذا الاسلوب يفضل ايضاً اتباعه في حالة الترب ذات القدرة العالية على تثبيت العناصر الغذائية وهي الترب ذات المحتوى العالي من الطين خصوصاً معادن الطين الثانوية من نوع 2:1 مثل الايلايت (Illite) المونتموريللونيت (Montmorillonite) والفيرميكولايت (Vermiculite) والتي تعمل على تثبيت البوتاسيوم والامونيوم او معادن الطين الثانوية من نوع 1:1 مثل الكاؤولينايت (Caolinite) والهاوسايت (Hallosite) المثبتة للفوسفات . أما سمادي البوتاسيوم (كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم) فذات تأثير متعادل .

هذا ويمكن اضافة العناصر الغذائية بشكل محاليل غير انه يجب ان يلاحظ ان الاوراق واجزاء النبات الهوائية الاخرى لايمكنها امتصاص ايونات العناصر الغذائية بنفس كفاءتها في امتصاص الغازات مثل (CO_2 ، O_2 SO_2) وذلك لان خلايا البشرة الخارجية للاوراق مغطاة بالكيوتيكل والذي يكون قليل النفاذية للماء والمواد الذائبة فيه . ومن هنا يتبين لنا ان النبات يمكنه أن يحصل على جزء من احتياجاته من العناصر الغذائية عن طريق الاجزاء الهوائية .

وما يذكر أن امتصاص العناصر الغذائية يكون افضل عندما يبقى المحلول المغذي لفترة اطول على شكل أغشية رقيقة على سطح الاوراق . وفي الايام الحارة وذات الايام الصافية والخالية من السحب عندما يكون التبخر عالياً فقد تتجمع الاملاح على سطح الاوراق مما يؤدي الى حرقها ، ولتجنب ذلك فانه ينصح غالباً باستعمال محاليل ذات تراكيز منخفضة (من 2% الى 5%) وان تجرى عملية الرش في الايام ذات درجة الحرارة المنخفضة والمبلدة بالغيوم وان تجري مساء خاصة في ايام الصيف .

كما سبق وان بينا فان اضافة الاسمدة عن طريق رش الاوراق (Foliar application) تجعل النبات يحصل على جزء من حاجته من العناصر الغذائية ولذلك فهي لاتكون ناجحة في حالات العناصر الغذائية الكبرى خصوصاً النتروجين والفوسفور والبوتاسيوم ولكنها قد تكون مفيدة في حالات العناصر الغذائية الصغرى خاصة عندما تكون اضافتها للتربة عرضة للترسيب وعدم استفادة النباتات منها كما في حالة الحديد والنحاس والزنك والمنغنيز والبورون في حالة الترب القاعدية كما هو الحال بالنسبة لظروف العراق ولذلك ينصح بأضافة العناصر الغذائية الصغرى اما رشاً على الاوراق واصافتها للتربة في صور المركبات الخلبية (Chelate compounds) .

وحيث ان العناصر الغذائية الصغرى يحتاجها النبات بكميات قليلة فإن اضافتها بالرش لمرة واحدة او مرتين بصورة سليمة في الوقت المناسب تكون فعالة لتغطية احتياجات النبات منها .

ان اضافة المغذيات باستعمال التسميد الورقي بالرش غالباً ماتكون ناجحة على اشجار الفاكهة بشكل خاص حيث ان النظام الجذري لها يكون متعمقا وان اضافة العناصر الغذائية الى التربة يكون ذو فائدة محدودة علاوة على تشجيع نمو الحشائش والادغال . فقد اشار (1972, Cooke) ان اضافة اليوريا رشا على اشجار التفاح (عندما تكون تربتها مغطاة بالحشائش) هي الطريقة الافضل لسد حاجة اشجار التفاح من عنصر النتروجين .

كما وضع (Schumacher and Frankenhauser, 1968) ان رش ثمار التفاح بحلول يحتوي على الكالسيوم طريقة ناجحة ومفيدة لتجنب الاصابة بمرض النقرة المرة (Bitter pit) في ثمار التفاح والتي هي عبارة عن بقع قهوائية او بنية اللون . وبوجه عام فإن التعامل مع الاسمدة السائلة سهلة الاستعمال والاضافة مقارنة بالاسمدة الصلبة وذلك عند توفر الادوات الخاصة بالاضافة . وهذه الاسمدة عند ملاستها للتربة فانها تتفاعل مع التربة بنفس الكيفية التي تتفاعل بها الاسمدة الصلبة . وبصورة عامة لم يلاحظ اية فروقات بين الاسمدة السائلة والصلبة على نمو النبات وحاصلة .

ان التغذية المعدنية المتوازنة ضرورية ومطلوبة لغرض الحصول على حاصل عال ذو نوعية جيدة ، ولهذا السبب فإن نسبة العناصر الغذائية الموجودة في الاسمدة المضافة تعتبر على درجة كبيرة من الاهمية . هذه النسبة تتوقف على عوامل عديدة ومن اهمها خصوبة التربة ونوع المحصول والنوعية المطلوبة من زراعته وكذلك ادارة المحصول . فالنوعية تختلف حسب الغرض الذي يزرع من اجله النبات فمثلاً زراعة الشعير المخصص لتغذية الحيوانات كعلف يختلف عن الشعير المخصص لصناعة البيرة . فالشعير المخصص لصناعة البيرة يجب ان لا تزيد نسبة البروتين فيه عن 7% حيث تقل كفاءته في عملية التخمر بزيادة نسبة البروتين فيه . ونفس الشيء ينطبق على درنات البطاطا المخصصة لغذاء الانسان او المخصصة لصناعة النشاء ففي حالة درنات البطاطا المخصصة لصناعة النشاء يجب الاهتمام بالتسميد الفسفوري للحصول على نشاء جيد ذو مواصفات مرغوبة حيث يكون اكثر لزوجة وانصح بياضاً لدور الفسفور في عملية الاسترة مع جزئيات النشاء . والبطاطا المخصصة لتغذية الانسان او لصناعة النشاء من الضروري الاهتمام بعنصر البوتاسيوم لدوره المعروف في زيادة الكاربوهيدرات من ناحية ولعدم ظهور ظاهرة الاسوداد (Blackening) اثناء عملية الطهي او القطع من ناحية اخرى .

وبناء على ماتقدم فاذا كانت التربة فقيرة باحد العناصر الغذائية كالفسفور مثلاً فهنا يجب اضافة سماد مركب ذو محتوى عال نسبياً من الفسفور . وفي حالة النقص الشديد فانه ينصح باضافة الاسمدة الفوسفاتية من اجل رفع خصوبة التربة الى المستوى المطلوب . مثل هذه الحالة موجودة في الترب ذات القابلية العالية على تثبيت الفسفور او البوتاسيوم .

وفي الترب العالية الخصوبة فإن نسب امتصاص العناصر الغذائية تكون دالة وذات مؤشر جيد يستدل منها على احتياجات النبات من العناصر الغذائية . لذا فانه يمكن الاستفادة منها واستعمال هذه النسب في حساب معدلات الاسمدة

واختيار افضل الاسمدة المركبة لتمكين النباتات من الحصول على احتياجاتها من هذه العناصر . فلقد اوضح (1968, Von Bogus Lawski and Von Gierke) ان نسبة كميات النتروجين والفسفور والبوتاسيوم الممتصة من قبل محاصيل الحبوب هي بمعدل 1:0.3:0.8 وبالنسبة لمحصولي البنجر السكري والبطاطا فكانت 1:0.3:4.8 وبناء على هذه النسب فإن الاسمدة المركبة الحاوية على النسب التي تقارب من 1:0.5:1 من عناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم على التوالي ينصح باستعمالها في محاصيل الحبوب . في حين ان البنجر السكري والبطاطا تحتاج الى اسمدة مركبة ذات نسبة عالية من البوتاسيوم . ان نسب امتصاص عناصر النتروجين والفسفور والبوتاسيوم بواسطة النباتات التي تزرع من اجل اجزائها الخضراء الهوائية مثل الحشائش والجت والبرسيم والخس واللفت والكرفس والمعدنوس تقارب من 1:0.15:1.1 . وبالنسبة للجت والبرسيم ونظرا لقدرتها على تثبيت النتروجين الجوي فانه يضاف فقط الفسفور والبوتاسيوم بكميات كبيرة ويضاف كمية صغيرة من النتروجين في بداية او قبل الزراعة لضمان تكوين مجموعة جذرية جيدة وقوية وبالتالي زيادة كفاءتها في عملية تثبيت النتروجين الجوي . ولذلك فانه من الخطأ تماما اهمال عملية اضافة النتروجين قبل او عند الزراعة بالنسبة للنباتات البقولية .

ان كمية الفسفور التي تحتاجها المحاصيل هي اكبر من الكميات التي يتم التوصل اليها لان كميات كبيرة من الفسفور المضاف تثبت من قبل التربة . فقد اشار (1965, Kohnlein and Knauer) ان مقدار الفسفور الذي يمتص من قبل النباتات يتراوح ما بين 21 و 72% وان الباقي من الفسفور يثبت في التربة .

وعند حساب نسب العناصر الغذائية الملائمة لاضافة الاسمدة المعدنية يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار نتائج التجارب الحقلية والدورة الزراعية المتبعة وادارة المزرعة . حيث ان بقايا المحصول يكون لها تأثير على كمية العناصر الغذائية التي يحتاج اليها المحصول اللاحق للمحصول السابق . فقد وجد ان قش محاصيل الحبوب يحتوي على ما يقارب من 17 كغم نتروجين ، 3 كغم فسفور و 30 كغم بوتاسيوم في الهكتار . وعند خلط القش في التربة فإن المحصول الذي سوف يزرع في السنة التالية سيحصل على البوتاسيوم ولكن هذا المحصول يحتاج الى كميات اضافية من النتروجين لان قسماً من النتروجين الذي يضاف سوف يستهلك من قبل احياء التربة المحللة لهذا القش . وخوفاً من استنزاف نتروجين التربة فانه ينصح غالباً باضافة

1 كغم من النتروجين لكل 100 كغم من القش كما أشرنا الى ذلك سابقا . إن بقايا البنجر السكري تعتبر مصدرا جيدا للعناصر الغذائية فهي تحتوي على ما يعادل 100 كغم نتروجين ، 10 كغم فسفور و 100 كغم بوتاسيوم / هكتار ، غير ان محصول البنجر السكري يتطلب العناصر الغذائية بكثرة حيث يقدر ما يقرب من 260 كغم نتروجين ، 40 كغم فسفور و 360 كغم بوتاسيوم يمتصه النبات في الهكتار الواحد من التربة . ومن هذا يتضح ان هذا المحصول يحتاج الى كميات كبيرة من العناصر الغذائية وخاصة عنصري البوتاسيوم والنتروجين .

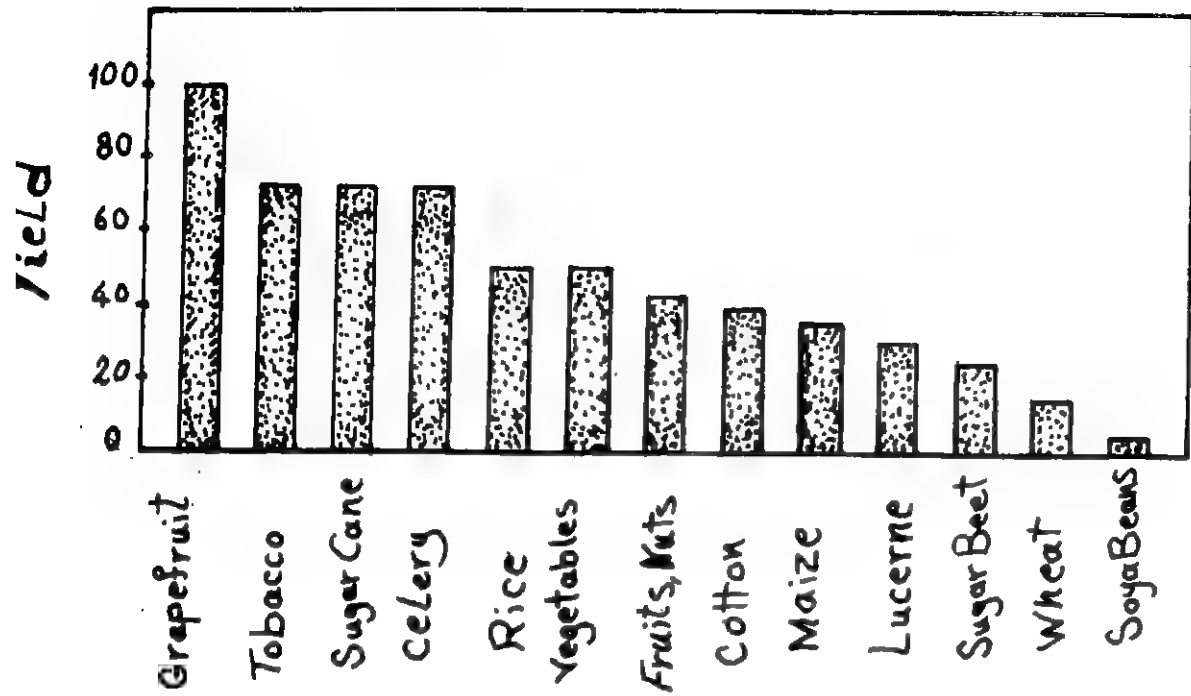
وعند زراعة الاعلاف فإن جزءا لا بأس به من العناصر الغذائية تعاد للتربة بصورة مباشرة من قبل حيوانات المزرعة . في المروج الدائمة فإن الحيوانات تعيد ما يقارب من 75 الى 80% من الفسفور والبوتاسيوم الممتص من قبل نباتات العلف . ولهذا فإن نسبة عنصري الفسفور والبوتاسيوم في الاسمدة المضافة يجب ان تكون واطئة (Bergmann 1969) .

هذا وتعتمد نسبة العناصر في الاسمدة على نظام الزراعة المتبع . ففي حالة نظام الزراعة الكثيفة تزداد الحاجة الى الاسمدة البوتاسية كما أشار الى ذلك (Cooke 1974) .

إن استعمال الاسمدة تعتبر احد العوامل المهمة في زيادة الانتاج للمحاصيل الزراعية بالاضافة الى تحسين نظام الزراعة واستعمال المبيدات . فقد قام Viets 1971 باجراء دراسة حول تأثير توقف التسميد بالنتروجين والفسفور لمدة سنة واحدة وعلى عدد من المحاصيل . فلاحظ انخفاض المحصول لهذه النباتات كما يتضح ذلك من الشكل (4-1) التالي .

ومن اجل الحصول على استجابة جيدة لاضافة الاسمدة وخاصة النتروجينية فانه يجب استنباط اصناف جديدة محسنة مقاومة لعملية الرقاد بالنسبة للحنطة والشعير والشوفان والشيلم ومثل هذه المحاصيل تكون استجابتها محدودة للاضافات المتزايدة من السماد النتروجيني .

ومما تجدر الاشارة اليه ان اضافة الاسمدة الكيماوية قد يكون لها تأثير سلبى في تلوث البيئة وخاصة في تلوث مياه الشرب وتأثيرها الضار على الاحياء المتواجدة في البرك والانهار (Dam Kofoed 1974) .



شكل (1-4) تأثير توقف التسميد بالنروجين والفسفور لمدة سنة على غلة المحاصيل المبينة في الشكل .
عن : (Vlets, 1971) .

إن وجود النترات والبورون تعتبر من أهم العوامل المؤثرة في نوعية مياه الشرب . والنترات بحد ذاتها غير سامة ولكن النتريت الناتج من اختزال النترات يسبب اختلال وظيفة الهيموكلوبين (Methaemoglobinemia) في الأحداث وأن منظمة الصحة العالمية قد حددت تركيز النترات في مياه الشرب بـ 10 جزء بالمليون . وهذا التركيز قد رفع الى 23 جزء بالمليون في أوروبا وإلى 45 جزء بالمليون من النترات في أمريكا .

وبالنسبة لعنصر البورون فيعتبر ماء الشرب غير صالح إذا زاد محتواه عن واحد جزء بالمليون .

إن وجود عناصر غذائية أخرى مثل الفسفور والبوتاسيوم والمغنيسيوم والصوديوم هو مرغوب فيها ويحسن من نوعية ماء الشرب .

18. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.

19. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
20. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
21. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
22. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.

23. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
24. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
25. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
26. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
27. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.

28. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
29. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.
30. 10. 1954. 10. 10. 1954. 10. 10. 1954.

على موكب الخريف
ppm- 109/08/27
m 10-08/0



التغذية المعدنية ونمو النبات

1.4 - مراحل النمو ومكونات الحاصل

1.1.4 - فكرة عامة :

إن الهدف من زراعة أي نبات أو محصول هو الحصول على أعلى حاصل اقتصادي وأحسن نوعية وبأقل التكاليف . ولأجل تحقيق هذا الهدف المنشود والنجاح في ذلك لابد من تهيئة كل الظروف البيئية الملائمة والاهتمام بكل العوامل الأخرى التي تؤثر على هذا النبات وفي مراحل نموه المختلفة . ولاشك أن التغذية المعدنية الصحيحة والمتوازنة تلعب دوراً مهماً إلى جانب عوامل النمو الأخرى والكثيرة والتي يمكن إجمالها بالعوامل الوراثية (Genetic factors) وهي العوامل الداخلية والتي تتلخص بتحسين وانتخاب أفضل الأصناف ذات الانتاجية العالية والنوعية الجيدة عن طريق ادخال الجينات أو العوامل الوراثية ذات الكفاءة العالية في زيادة الحاصل كما ونوعاً وكذلك انتخاب الأصناف المقاومة للأمراض أو الإصابة بالحشرات أو المقاومة للجفاف أو البرد أو الأصناف غير الحساسة للملوحة وكذلك انتخاب الأصناف المبكرة في النضج وبالتالي تفادي مهاجمة المحصول في مراحل نموه الأخيرة بالحشرات أو الأمراض . أما العوامل البيئية (Environmental factors) التي تؤثر على نمو النبات فتشمل جميع العوامل الخارجية من درجة الحرارة والضوء والماء والهواء الجوي ونسجة التربة وبنائها ومحتواها من الطين والدبال وتفاعل التربة وتوفر العناصر المعدنية في التربة وجهازيتها والرياح والعواصف والأعاصير وأحياء التربة والإصابة بالأمراض والحشرات وكما أن الإنسان نفسه وما يتبع ذلك من تدخله في العمليات الزراعية من حراثة وتسوية وعزق أو تعشيب للحشائش والادغال وإضافة الأسمدة العضوية أو الكيماوية والدورات الزراعية المتبعة أو الرش بالمبيدات الخ .

2.1.4 - النمو : Growth

يمكن تعريف النمو بأنه النشوء أو التحول التدريجي الذي يحصل للنبات من بدء دورة حياته والتي تبدأ بالانبات وحتى مرحلة النضج الكامل والذي يكون مصحوبا بزيادة الوزن الجاف للنبات أو بزيادة حجمه أو طوله أو قطره .

كما يمكن تعريف النمو بأنه زيادة المادة البروتوبلازمية الحية للكائن الحي أو زيادة عدد خلاياه فعند انبات البذور تحدث فيها تغيرات كيميائية حيوية حيث يبدأ الانبات بامتصاص البذور للماء وبذلك تنتفخ نتيجة لتشرب البذور بالماء (Imbibition) مما يهيئ الظروف الملائمة لعملية التنفس . وعند امتصاص البذور للاوكسجين فإن المخزون من الكربوهيدرات والدهون وأحيانا البروتينات تتأكسد الى ثاني اوكسيد الكربون والماء وينتج عن ذلك طاقة متحررة على شكل الـ ATP و $NADPH_2$. وهذه الطاقة تكون ضرورية لعملية النمو . والبروتينات المخزونة في البذور تتحلل مائيا والاحماض الامينية الناتجة تستعمل في تكوين الانزيمات والبروتينات الاخرى والاحماض النووية وكل من هذه المركبات تكون ضرورية في تكوين الخلايا المرستيمية وانقسام الخلايا التي تعتبر العملية المولدة والاساسية للنمو .

وعملية الانبات تحتاج الى درجة حرارة مثلى وكما سبق تحتاج الى تجهيز البذور بالماء والاوكسجين إلا أنها علاوة على ذلك فانها تحتاج الى عوامل ملائمة في داخل البذور نفسها . هذه العوامل الداخلية للنمو هي بصورة رئيسية الهرمونات مثل حامض الابسيسك ABA (Absciscic acid) وحامض الجبريليك GA_3 (Gibberellic acid), IAA, واندول حامض الخليك (Indole acetic acid) والساييتوكاينينات Cytokinius

أي أن عملية الانبات تعتمد على هذه الهرمونات او تحللها . ودرجة الحرارة المثلى تكون الجبرلين والـ IAA اللذان يحفزان الانبات كما تعمل درجة الحرارة على زيادة تحلل حامض الابسيسك الذي يمنع الانبات .

ويذكر أن منظّمات النمو (الهرمونات) والتي تشمل المنشطات والمثبطات تتكون داخل النبات وبتركيز قليلة جدا وتعمل على تنظيم الفعاليات الحيوية الفسلجية وهي تنتقل داخل النبات من أماكن تكوينها الى حيثما يحتاج اليها النبات .

إن نمو الكائنات الحية الراقية يكون مصحوبا بتخصص المواد العضوية الحية الى انسجة وأعضاء نباتية مختلفة .

وإن عضو النبات الاول الذي يتكون بعد عملية الانبات هو الجذير والذي يتطور الى الجذر الذي يقوم بامتصاص الماء والعناصر الغذائية وبعد ذلك يبدأ نمو اجزاء النبات العليا الهوائية وعندما تخترق الطبقة السطحية من التربة تبدأ عملية تكوين الكلوروفيل بمساعدة الضوء . من هذه المرحلة من النمو يبدأ الدور المهم لعاملي النمو الضوء وثاني اوكسيد الكربون وتزداد أهمية هذين العاملين بازدياد استهلاك المواد المخزونة في البذور . إن الاوراق الحديثة لا تستطيع أن تجهز ما تحتاج اليه بذاتها بل يجب أن تجهز بالكربوهيدرات والاحماض الامينية في مرحلة البادرة وهذا التجهيز بالمواد العضوية يكون من قبل المواد المخزونة في البذور ولكن عند بداية الطور الخضري الذي يتصف بالنشوء السريع للسيقان والاوراق والجذور فإن مصادر المادة العضوية للنمو تنتقل من مصدر البذور الى الاوراق . والمواد المتمثلة من عملية التركيب الضوئي في الاوراق القديمة تكون المصدر التجهيزي للنسجة الحديثة التكوين ويستمر تجهيز الاوراق الحديثة التكوين بالكربوهيدرات حتى تصل هذه الاوراق الى ثلث حجمها النهائي في حين أن انتقال الاحماض الامينية للاوراق الحديثة التكوين يستمر حتى تصل هذه الاوراق الى حجمها النهائي (1969 Milthorpe and Moorby) .

ويذكر أن الاوراق الكاملة النضج تصدر ما يقرب من 50% من المواد التي تنتجها عملية التركيب الضوئي والباقي تحتاج لعملياتها الحيوية وخاصة التنفس . ويتبع الطور الخضري طور التكاثر والذي يبدأ بتكوين الازهار وعندما يحدث التلقيح والاختصاص يبدأ تكوين البذور والثمار وعندها ينهي النبات الحولي دورة حياته . هذا وتمر الخلية اثناء نموها بعدة مراحل متتالية ففي المرحلة المرستيمية يقتصر الامر على زيادة عدد الخلايا وقلما يصاحب ذلك زيادة في حجمها او وزنها وبعد ذلك تأتي مرحلة الزيادة في حجم الخلايا حيث تبدأ الخلايا في امتصاص الماء ومركبات العناصر الغذائية المذابة وينتج عن ذلك تكوين الفجوات الخلوية الصغيرة التي سرعان ما تتحد مع بعضها مكونة فجوة كبيرة تحتل مركز الخلية ويندفع سايتوبلازم الخلية فيلتصق بغشاء الخلية وعند هذه المرحلة من النمو تتميز الخلايا حسب الوظيفة المهيأة لها (Differentiation) .

ولا نود هنا الدخول في شرح تفصيلي للنمو وكيفية تأثير العوامل المختلفة على نمو النبات فهذا ليس هدف الكتاب ولكننا سنكتفي بتوضيح العلاقة بين نمو النبات والتجهيز بالعناصر الغذائية .

3.1.4 - معدل النمو والتجهيز بالعناصر الغذائية

يمكن التعبير عن انتاج المحصول الاقتصادي بمصطلح بيولوجي او بمصطلح زراعي . ويفهم من الحاصل البيولوجي بأنه الناتج الكلي من مادة النبات بما في ذلك الجذور والاوراق والسيقان والازهار والحبوب او الثار . في حين أن الحاصل الاقتصادي والذي يسمى احيانا بالحاصل التجاري (Holliday 1976) فإنه يشمل فقط اجزاء النبات التي من أجلها يزرع او يحصد، هذا النبات . وعلى سبيل المثال بذور محاصيل الحبوب او جوزات القطن المحتوية على الالياف والبذور او سيقان قصب السكر او درنات البطاطا او جذور البنجر السكري الخ . وبالنسبة لحاصل العلف او محاصيل الخضر مثل الخس واللهاثة والكرفس والمعدنوس فإن اجزاءها الهوائية والتي تتكون فوق سطح التربة خلال مرحلة النمو الخضري هي التي تمثل الحاصل الاقتصادي .

هذه الحالة لا تنطبق على كل المحاصيل النباتية حيث أن نمو النبات خلال الطور الخضري هو المهيمن على الحاصل البيولوجي وكذلك على الحاصل الاقتصادي أو التجاري حيث تقوم انسجة النبات الخضراء بتجهيز المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي والتي تنتقل الى البذور أو الانسجة الخازنة . إن الانسجة المرستيمية لها فعاليات حيوية والمواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي والتي تجهز هذه الانسجة تستعمل بصورة رئيسية في تكوين البروتينات والاحماض النووية . كما أن التغذية بعنصر النتروجين تلعب دورا مهما وتسيطر بشكل كبير على معدل نمو النبات خلال مرحلة النمو الخضري وتطوره . أن المعدل العالي لنمو النبات يمكن أن يتحقق فقط عندما تتوفر كميات كافية من النتروجين الجاهز . كما يتضح ذلك من الجدول (1-4) .

جدول (1-4) : تأثير التجهيز بالنتروجين على الحاصل والمركبات العظوية لنبات الجاودار (*Lolium perenne*) الحديثة التكوين (Hehl and Mengel, 1972)

النتروجين المجهز (غم N / اصيص)	
0.5 غم N / اصيص	2.0 غم N / اصيص
الحاصل (غم مادة جافة / اصيص)	14.9
البروتين الخام (%) مادة جافة	12.3
السكريز (%) مادة جافة	7.7
فركتوزان معقد	10.0
Polyfructosans (%) مادة جافة	-
النشاء (%) مادة جافة	6.1
السيليلوز (%) مادة جافة	14.4
	17.6

يتضح من الجدول زيادة الحاصل وكذلك زيادة البروتين الخام (Crude protein) بزيادة التجهيز بعنصر النتروجين في حين حدث تجمع للنشاء والفركتوزان المعقد Polyfructosans وعندما تكون التغذية بالنتروجين غير كافية فإن دورة حياة النبات تقصر ويحدث نضج مبكر للنبات الامر الذي يؤدي الى قلة الحاصل ورداءة نوعيته وبمعنى اخر خفض الحاصل الاقتصادي أو التجاري .

1.3.1.4 محاصيل الحبوب :

يعتمد محصول الحبوب على ثلاثة مكونات رئيسية وهي عدد السنابل أو العرائص بالدوغم وعدد الحبوب فيها وعلى وزن الف حبة . اشار العديد من الباحثين بأن التجهيز بالعناصر الغذائية يؤثر بدرجة كبيرة على مكونات حاصل الحبوب فقد اوضح (Forster, 1973) بأن عدم انتظام التغذية بالبوتاسيوم خلال مرحلة تكوين التفرعات يقلل من عدد السنابل كما يقلل من عدد الحبوب في السنبلة الواحدة لمصولي الحنطة والشوفان . إن عدد الحبوب المنتجة بالسنبلة الواحدة يتأثر ايضا بالعوامل المناخية كالضوء ودرجة الحرارة .

وبما تجدر الاشارة اليه أن حجم الحبوب (وزن الف حبة) والذي يسيطر عليه وراثيا يتأثر كذلك بالعوامل المناخية التي تؤثر في عملية ملء الحبوب خلال مرحلة النضج . أن التجهيز بالماء يلعب دورا رئيسيا في تكون الحبوب . فقد لاحظ (Brevedan and Hodges, 1973) في تجربة أجريت على محصول الذرة الصفراء بأن نقص الماء له تأثير كبير في انتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي مقارنة بتأثيره على عملية التركيب الضوئي ذاتها . كما لوحظ أن نقص الماء يحفز تكون حامض الابسيسك وتحلل منظم النمو الساييتوكاينين (Cytokinin) .

وحيث أن حامض الابسيسك يسرع من عملية النضج والساييتوكاينين يؤخره فإن نقص الماء يقصر من فترتي النضج وملء الحبوب وهذا بدوره يؤدي الى صغر حجم الحبوب وبالتالي خفض حاصل الحبوب وتقليل جودتها . أن المعدل العالي للماء الحبوب يمكن الحصول عليه بالتغذية العالية من النتروجين وكذلك عند توفر المستوى الملائم من البوتاسيوم (Mengel and Haeder, 1974) . والنباتات المجهزة بصورة جيدة بالنتروجين يتأخر فيها هرم الورقة اللوائية والتي ثبت بأنها هي التي تجهز المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي للماء الحبوب (Evan and Rawson, 1970) . حيث وجد أنها تجهز 70-80% من المواد المألثة للحبوب والتي كان مصدرها عملية التركيب الضوئي أما الجزء الباقي من المواد المتمثلة التي

تتأثر الحبوب يكون مصدرها سنبال الحبوب نفسها . كما وجد أن للبوتاسيوم تأثير مشابه علاوة على أنه يعمل على زيادة معدل تمثيل ثاني أوكسيد الكربون (1970, Watanabe and Yoshida) .

أن حاصل الرز يمكن أن يحسن فقط بزيادة حجم الحبوب وهذه حالة مغايرة مقارنة بمحاصيل الحبوب الأخرى كالحنطة .

كما أن معدل النمو بعد الإزهار أيضا له تأثير على حاصل الحبوب لنبات الرز وإذا كانت فترة النضج قصيرة وهذا يحدث عندما يعاني النبات من نقص النتروجين فإن حاصل الحبوب يقل . أما بعد الإزهار فالرز بصورة خاصة يحتاج إلى كميات كبيرة من النتروجين والبوتاسيوم ولذلك فإنه للحصول على إنتاجية عالية فإنه يجب إضافة دفعة متأخرة من سماد النتروجين والبوتاسيوم . ويذكر أن في الفصول الرطبة فإن شدة الضوء الواطئة تكون هي العامل المحدد في أغلب الأحيان للحاصل الرز حيث أن مثل هذه الظروف تؤدي إلى قلة عدد العناقيد (Panicles) بوحدة المساحة .

2.3.1.4 - المحاصيل الجذرية

إن فلسفة الحاصل للمحاصيل الجذرية تختلف عن فلسفة الحاصل بالنسبة لمحاصيل الحبوب حيث أنه في المحاصيل الجذرية تحصل منافسة وتزاحم بين الكاربوهيدرات وخاصة في فترة ملء الأنسجة الخازنة . في البطاطا والدرنة المشابهة فإن مكونات الحاصل هي عدد النباتات بالدوم وعدد الدرنة للنبات الواحد وحجم الدرنة . وإن بداية تكوين أجزاء النبات الحديثة يحتاج إلى مستوى معين من الكاربوهيدرات في النسيج النباتي فإذا كان المستوى منخفض كحدوث نمو خضري كبير فإن تكون الأجزاء الحديثة سوف يتأخر . أما في أكثر أنواع النباتات فإن التغذية بالنتروجين تقلل من تجمع الكاربوهيدرات نتيجة لزيادة النمو الخضري . فقد لاحظ (1971, Krauss and Marschner) في البطاطا المجهزة بصورة جيدة بالنتروجين خلال مرحلة تكوين الدرنة حصل تناقص في عدد الدرنة في النبات الواحد . إن نمو الدرنة يرتبط ارتباطا وثيقا بالكاربوهيدرات المجهزة . وهي بدورها تتوقف على شدة تمثيل ثاني أوكسيد الكربون من قبل أجزاء النبات الهوائية وكذلك على معدل انتقال المواد الناتجة من هذه العملية من الأوراق إلى الدرنة . ومعدل تمثيل CO_2 يعتمد على مساحة الورقة في النبات ومساحة الورقة تعتمد على نشوء النبات خلال فترة النمو الخضري (مر

الانبات وحتى الازهار). كما أن كفاءة الاوراق في تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية بشكل ($ATP, NADPH_2$) التي يحتاج اليها في تمثيل المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي تتوقف على مستويات التغذية الجيدة بالبوتاسيوم والفسفور (1970 Watanabe and Yoshida). واذا أريد أن يكون حاصل الدرنات عاليا فإنه من الضروري الحصول على اقصى معدل لتمثيل ثاني اوكسيد الكربون خلال مرحلة ملء الدرنات .

كما أن عملية ملء الدرنات لا تتوقف فقط على كفاءة عملية التركيب الضوئي بل تعتمد كذلك على الكفاءة التي يتم بها انتقال نواتج عملية التمثيل نفسها .

وما تجدر الاشارة اليه أن التغذية بالنيتروجين تلعب هنا دورا مغايرا في المحاصيل الجذرية مقارنة بمحاصيل الحبوب حيث أن التغذية بالنيتروجين بعد الازهار تعمل على تحفيز النمو الخضري وتكوين الاوراق الحديثة وهذا بلاشك يكون على حساب ملء الدرنات (1971 Krauss and Marschner). وقد أشار الباحثان الى أن معدل نمو الدرنات قد قل بزيادة مستويات التغذية بالنترات (7 مليمكافىء / لتر). غير انها قد اوضحا الى ضرورة الاهتمام بالنماد النيتروجيني خلال مراحل النمو الاولى للمحاصيل الجذرية من اجل تكوين نمو خضري جيد ولأجل رفع كفاءة التركيب الضوئي ولكن بعد الازهار يجب أن يقلل التجهيز بالنيتروجين حيث أن هذه المرحلة تتصف بتكوين الكاربوهيدرات وانتقالها الى الدرنات .

هذا وأن البنجر السكري يختلف عن البطاطا في فلسجة الحاصل بدرجة كبيرة حيث أنه محصول سنوي وله دورة سبات بين فترة النمو الخضري ومرحلة الإنتاج من الجذور في حين أن نبات البطاطا هو محصول حولي. ويقوم محصول البنجر السكري بتجميع الكاربوهيدرات في الانسجة الخازنة وأن الحاصل الاقتصادي يتوقف على عدد النباتات بوحدة المساحة وحجم الجذور ومحتواها من السكر. كما أن حجم الجذور يعتمد بدرجة كبيرة على العناصر الغذائية وكذلك على المستوى الرطوبي خلال المراحل الاولى لنمو المحصول، كما أن نمو الاوراق وزيادة عددها ومساحتها خلال هذه الفترة للنبات الواحد يكون أساسياً للحصول على جذور ممتلئة ذات حجم كبير. إن نمو الأوراق الجيد سواء من ناحية عددها أو مساحتها للنبات الواحد يعتمد بصورة كبيرة على مستويات التغذية بالنيتروجين خلال المراحل الاولى من نمو النبات. أما في مراحل النمو الأخيرة للنبات فيجب أن تقلل كميات النيتروجين المضافة للنبات والا أدى ذلك الى دفع نموه مجدداً لتكوين ثمرات جديدة

والتي ستكون على حساب ملء الجذور . وقد لاحظ (Forster 1970) زي حاصل السكر لنبات البنجر السكري بحوالي 30% كما أوضح الباحث نفسه أنه مرحلة نمو البنجر السكري الأخيرة فأن عملية التركيب الضوئي وانتقال نواتجها الجذور أساسية لزيادة حاصل السكر وليس لنمو الاوراق فقط . وهناك نتائج مما توصل اليها (Bronner 1974) .

أما محصول قصب السكر يختلف بصورة كاملة عن محصول البنجر السكري أن هناك تشابهاً كبيراً من حيث الحاصل الاقتصادي حيث يزداد الحاد الاقتصادي اذا ما توفرت الظروف الملائمة في الاسابيع الاخيرة قبل الحصاد لتكم وخزن السكر وليس للنمو الخضري ، حيث تلعب هنا التغذية المعدنية وخوا بعنصري النتروجين والبوتاسيوم دوراً أساسياً كما في حالة محصول البنجر السكري

3.3.1.4 - محاصيل الثمار :

إن انتاج محصول العنب والاشجار المثمرة الاخرى يتصف كذلك بفترة تك وانتقال وملء والتي تبدأ عادة بعد الازهار مباشرة . فقد بين (Koblēt 1969) أن موقع الورقة في العنب ذو أهمية في عملية الملء . ولهذا السبب فإن ز مساحة الاوراق الجاوزة للعنقود وزيادة كفاءتها في عملية التركيب الضوئي ت ضرورية وتؤثر معنوياً على زيادة وزن العنقود بالاضافة الى زيادة محتوي اله ومن المعلوم أن كفاءة التركيب الضوئي للاوراق لا تعتمد على شدة الضوء والحر بل أنها تتأثر كذلك بالتغذية المعدنية . فقد وجد أن اضافة السباد النتروجيني شجرة العنب بعد الازهار والذي يطيل فترة بقاء الاوراق خضراء قد أدى زيادة نشاطها في عملية التركيب الضوئي والذي انعكس ايجابياً على عملية ا نفسها إن السكروز مع كميات قليلة من الفركتوز والكلوكوز والاحماض العض هي أهم المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي والتي تنتقل من الاوراق العناقيد . وقد بين (Kliewer 1964) في تجاربه على العنب (*Vitis vinifera*) أن تكوين السكر والاحماض العضوية يعتمد بدرجة كبيرة على درجة الحرارة و أن تكون الاحماض العضوية يزداد بانخفاض درجات الحرارة في حين السكريات تتحفز كثيراً تحت الظروف الدافئة . إن فسلجة ثمار اشجار الف كالتفاح والخوخ والاجاص والعزموط والمشمش والحمضيات تشبه الى حد فسلجة العنب . والعامل المهم في حاصل الثمار هو عدد الثمار وحجمها للش الواحدة .

ومما لا شك فيه أن تكون الثمرة يعود الى نشاط منظمات النمو ولكن من المحتمل أن تكون للتغذية النباتية تأثير في ذلك .

لقد بين (Khan and Sagar 1967) في تجاربها على محصول الطماطة بأن الاوراق (أي عددها ومساحتها) تعتبر الجهاز الرئيسي الذي يزود المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي في ملء الثمار وهذا يعني أن التغذية المعدنية وخاصة اضافة دفعة متأخرة من السماد النتروجيني مع البوتاسيوم تكون ذات أهمية لنبات الطماطة . وقد أيد هذا في ذلك (Forster 1973) والذي أشار بأن عملية ملء الثمار وعدد الثمار تعتمد على التجهيز الجيد بالعناصر الغذائية وخاصة بعنصري النتروجين والبوتاسيوم .

4.3.1.4 - محاصيل العلف الاخضر والخضروات الورقية وثيل الحدائق :

كما ذكر سابقا إن المحصول الاقتصادي لهذه المحاصيل هو الاجزاء الهوائية النامية فوق سطح التربة ولذلك فإن العناية بالاسمدة النتروجينية لهذه المحاصيل تعتبر على درجة كبيرة من الأهمية لدورها المعروف في زيادة النمو الخضري والتي تؤكل مباشرة من قبل حيوانات الحقل او الانسان كالجث والبرسيم او الخس واللفت .

وفي حالة ثيل الحدائق فينصح بعد قص الثيل اضافة كمية ملائمة من السماد النتروجيني ورشه بالماء او ريه بعد الاضافة مباشرة وهذا ينطبق ايضا بالنسبة للكرفس والمعدنوس والرشاد وكافة المحاصيل الورقية التي يؤخذ حشاش منها اثناء فترة حياتها .

2.4 - التغذية واستجابة المحصول

تلعب التغذية المعدنية الى جانب عوامل النمو الاخرى والتي سبق ذكرها في بداية هذا الفصل دورا مهما في تكوين مادة النبات .

وان المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي يمكن ان تستهلك في النمو الخضري وفي تكوين المواد المخزونة وفي عملية التنفس . كما ان اتجاهها الى هذه المستقبلات الثلاثة السالفة الذكر يعتمد على العمر الفسيولوجي للنبات (Warren-Wilson, 1969) . ففي حالة البادرات الحديثة يقدر بان حوالي 50% من مواد عملية التركيب الضوئي تستعمل للنمو . بينما في النباتات الناضجة فإن الجزء الاكبر من المواد المتمثلة يستعمل في عملية الخزن للماء والبذور او الثمار .

اما (Evans and Rawson, 1970) فقد وجدوا ان اكثر من 80% من م
عملية التركيب الضوئي المنتقلة الى الحبوب خلال فترة ملء الحبوب للحنطة
استعملت في تكوين المركبات العضوية والمواد المتبقية استعملت في التنفس . و
الحالة قد وجدت في حالة الثار عندما اشار (Haeder and Mengel, 1972)
ثمار الطماطة قد استهلكت ما يقرب من 30% من مواد عملية التركيب الضوئي
عملية التنفس .

3.4 - العلاقات الكمية بين التغذية والحاصل :

ان الهدف من عملية التسميد او عملية اضافة المغذيات للنبات هو الحصول
اعلى حاصل اقتصادي واحسن نوعية وبأقل التكاليف وذلك عن طريق زي
كفاءة عملية التسميد بأختيار نوع السماد المناسب لنبات معين وفي تربة مع
واضافة هذا السماد في الموعد المناسب وبالكمية الملائمة والطريقة المناسبة المستخ
لاضافته والذي من شأنه ان يحقق اعلى استفادة (اي افضل استجابة من النب
لهذا السماد) .

لقد حاول كثير من الباحثين ايجاد معادلة رياضية تعبر كميأ عن العلاقة
الحاصل والتغذية النباتية ولقد كان العالم الالماني ليبيك (Liebig, 1855)
رائدا في هذا المجال ووضع القانون والذي مازال يحمل اسمه هو قان
العامل المحدد (Law of the Limiting Factor) ولو أن (Sprengel, 1855, 939)
قد اقترحه من قبل . ويفهم من هذا القانون ان العنصر الغذائي الموجود في الت
او وسط نمو النبات وبأقل كمية بالنسبة لحاجة النبات منه مقارنة بالعنا
الغذائية الاخرى يكون هو العامل المحدد للإنتاج . غير ان هذا القانون قد ف
بطريقة خاطئة عند صدوره عندما اشار ليبيك ان اضافة أي كمية من العن
المحدد يزيد الإنتاج بنسبة مطردة ثابتة وان اضافة اي عنصر غذائي اخر لن ي
له اي تأثير في زيادة الحاصل حتى يزيد مقدار العنصر المحدد عن الكميات
كان موجودا عليها اصلا في التربة أو في وسط نمو النبات .

وطبقا لهذا الرأي يكون التغير في الحاصل (y) في تناسب ثابت مع التغير
العنصر الغذائي المحدد (x) للإنتاجية اي ان :

$$\frac{dy}{dx} = K$$

حيث

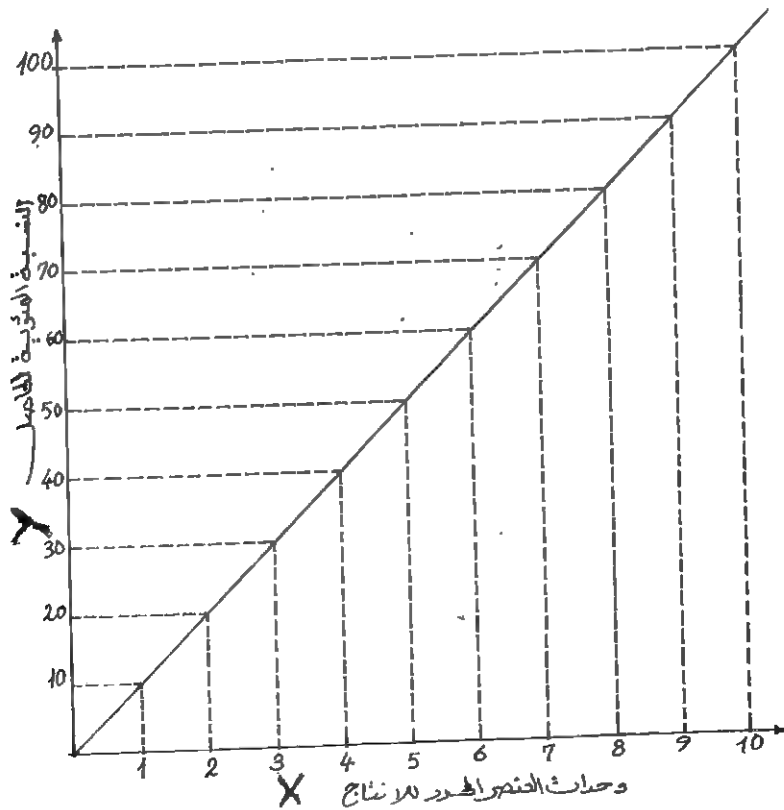
dy = التغير في الحاصل نتيجة اضافة العامل المحدد
 dx ، التغير في كمية العامل المحدد
 k ، مقدار ثابت
وبالتكامل نحصل على المعادلة الاتية :

$$y = Kx + C$$

حيث y = الحاصل

x ، العامل المحدد
 K, C ، ثوابت

وهذه هي معادلة الخط المستقيم . ومعنى ذلك انه اذا وضعنا مقادير الحاصل (y) على المحور الصادي ومقادير العنصر المختبر (x) على المحور السيني فأننا نحصل على رسم بياني يمثل الخط المستقيم كما في الشكل (2-4) .



شكل (2-4) يبين العلاقة بين الحاصل ووحدات العنصر المحدد .

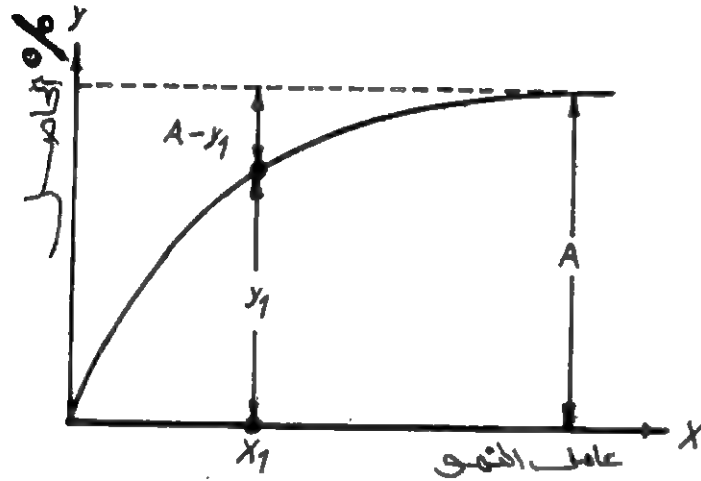
محرور عن : (Mengel and Kirby, 1982)

ويتضح من قانون ليبك وطبقا لمعادلة الخط المستقيم انه اذا كان عنه البوتاسيوم هو العنصر المحدد للانتاج فانه باضافة الوحدة الاولى من هذا العنصر (x) فانه يعطينا وحدة انتاج مقدارها (y) وباضافة وحدة اخرى من عنه البوتاسيوم مساوية في كميتها للوحدة الاولى اي (x) فاننا نحصل على وحدة اخر من الانتاج مساوية في كميتها لما انتجته الوحدة الاولى من البوتاسيوم اي () وحدة انتاج اخرى وهكذا يتوالي اضافة وحدات اخرى من البوتاسيوم (العنصر المحدد للانتاج فاننا نستمر في الحصول على وحدات اخرى جديدة من الانتاج وبنفس الكفاءة او الاستجابة لما انتجته الوحدة الاولى من العنصر المحدد وبعدها اخرى لو اعطينا الوحدة الاولى من العنصر المحدد للانتاج حاصلا مقداره (5) فان الوحدة الثانية ايضا تعطي حاصلا مقداره (5) كغم والوحدة الثالثة ايضا () كغم وهكذا . وبطبيعة الحال هذا غير معقول وفسر في حينه من قبل ليب بطريقة خاطئة . والاقتراح الاخر من قبل ليبك بان اضافة عوامل الاثر الاخرى اذا ما اضيفت مع العنصر المحدد لا يكون لها اي تأثير في زيادة الحاصل الا بعد زيادة العامل المحدد الى مستوى معين وقد عدل هذا الاقتراح من (Liebscher, 1895) عندما ذكر ان تأثير العامل المحدد على الانتاج يتوقف التواجد المثالي لعوامل النمو الاخرى ، بمعنى ان تأثير العامل المحدد على الاثر قد يزيد او قد يقل وهذا يعتمد على مدى وجود وملاءمة العوامل الاخرى المؤثرة على نمو النبات .

ثم جاء (Wollny, 1897) والذي تركزت دراساته بالدرجة الاساس عوامل المناخ مثل الضوء ودرجة الحرارة والماء وكذلك اهتم بالخواص الفيزيائية للتربة مثل عمق الحراثة ، نسجة التربة وتركيبها .. الخ . والنهي وضع التربة المسمى بقانون الحدود المثلى (Law of optimum) والذي يفهم انه باضافة الحد المحدد فان الحاصل يزداد من الحدود الدنيا وحتى يصل الى الحد المثالي وبعد يقل الحاصل بزيادة اضافة العامل المحدد للانتاج .

وعندما اختبر العالم الالماني (Mitscherlich 1909) هذه العلاقة على الشوفان وذلك باضافة اربعة مستويات من الفسفور على اعتبار انه كان المحدد للانتاج مع تثبيت بقية العوامل الاخرى وعندما قام برسم خط بياني بين الحاصل ومستويات الفسفور المضافة حصل على منحنى وليس على خط . وأقترح قانوناً جديداً والذي ما يزال مقروناً بأسم متشرلش وهو قانون التناقص (Law of the diminishing returns) حيث لاحظ متشرلش

أعلى زيادة في الحاصل كانت من إضافة المستوى الأول من الفسفور وبإضافة وحدات متزايدة من العامل المحدد تقل نسبة الزيادة في الحاصل ولقد درس متشرلش هذه العلاقة في تجارب حقلية وفي تجارب البيوت الزجاجية باستخدام الأصص وأستنتج بأن زيادة الحاصل الناتجة من إضافة وحدة واحدة من عامل النمو كانت تتناسب مع كمية الحاصل المراد الحصول عليه للوصول إلى الحاصل الأعظم . كما يتضح ذلك من الشكلين (3-4) و (4-4) .



شكل (3-4) زيادة الحاصل (y) نتيجة زيادة عامل النمو (x) و A هو الحاصل الأعظم

عن : (Mengel and Kirbky 1982)

حيث y = الناتج الحاصل من إضافة عامل النمو

x = عامل النمو المحدد

A = الحاصل الأعظم

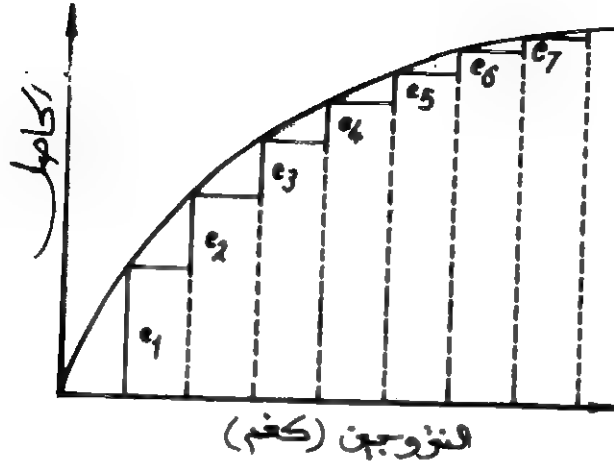
$A - y_1$ = كمية الحاصل الناتجة من إضافة العامل المحدد للوصول إلى الحاصل

الأعظم .

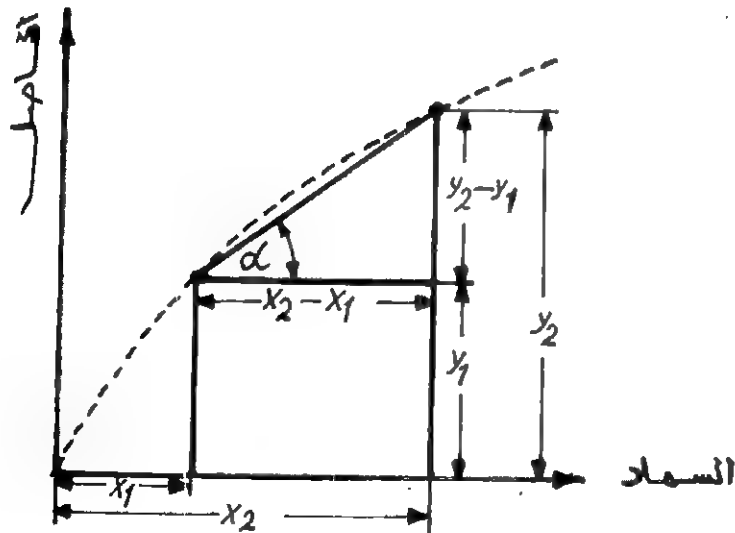
ان الزيادة الناتجة من إضافة الوحدة الثانية من العنصر الغذائي المدروس يكون اقل من الزيادة الناتجة من إضافة الوحدة الاولى والزيادة الناتجة من إضافة الوحدة الثالثة أقل بدورها من الزيادة الناتجة من إضافة الوحدة الثانية ، وهكذا تقل الزيادة الناتجة في الحاصل بشوالي إضافة الوحدات المتتالية من العامل المحدد للإنتاج وقد عبر متشرلش عن هذه العلاقة رياضياً كالآتي : -

$$\text{Tangent} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{dy}{dx}$$

وذلك كما يتضح من الشكل التالي : -



شكل (4-4) منحنى الاستجابة يوضح تناقص نسبة الزيادة في الحاصل باضافة الكميات المتزايدة من التزويج
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)



شكل (4-5) يبين ظل الزاوية كدالة للحاصل والسماد
عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

$$\frac{\text{المقابل}}{\text{المجاور}} = \text{حيث ان ظل الزاوية}$$

وحيث ان $y_2 - y_1$, $x_2 - x_1$ هي التغير او الزيادة في الحاصل وفي وحدات السداد المضاف على التوالي اي ان $\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ هي معدل التغير في y على x

$$\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{dy}{dx}$$

اي ان

$$\text{Tangent} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{dy}{dx} \quad (1)$$

وحيث ان Tangent تعني زيادة نقطة المماس وكذلك الارتفاع في الحاصل عند نقطة ما فهذا يعني ان

$$\text{Tangent} = K (A - y) \quad (2)$$

حيث ان Tangent الزيادة في الحاصل وهي في نفس الوقت عبارة عن ظل الزاوية

$$A = \text{الحاصل الاعظم}$$

$$y = \text{الحاصل الناتج من اضافة السداد}$$

$A - y$ = كمية الحاصل التي يقل فيها الانتاج عن الحاصل الاعظم والتي يمكن التعبير عنها بطريقة اخرى وهي كمية الحاصل المطلوبة للوصول الى الحاصل الاعظم او هي كمية الحاصل التي يقل فيها الحاصل المنتج فعلاً عن الحاصل الاعظم .

$$K = \text{مقدار ثابت}$$

بالتعويض من (2) في (1)

$$\frac{dy}{dx} = K (A - y) \quad (3)$$

ويتضح من المعادلة (3) انه كلما زاد المقدار الثابت K كلما زاد الحاصل وكلما زدنا اقتراباً من الحاصل الاعظم (A). وبأجراء عملية التكامل على المعادلة (3) نحصل على المعادلة الآتية : $\log(A-y) = Kx + C$ (4) وكلما زادت (x) كمية السماد المضافة كلما قل المقدار ($A-y$) وهنا تصبح (Kx) قيمة سالبة

$$\log(A-y) = C - Kx \quad (5)$$

حيث C هنا يمثل ثابت التكامل والتي تضم كل الثوابت ماعدا K .
واذا كانت قيمة x تساوي صفراً فإن y ايضاً تساوي صفراً وفي هذه الحالة تصبح المعادلة (5) كالآتي :

$$\log(A-\text{Zero}) = C - \text{zero}$$

$$\log A = C \quad (6)$$

اي ان C هي قيمة $\log A$ وبالتعويض عن قيمة C بـ $(\log A)$ في المعادلة (5) نحصل على المعادلة الآتية : -

$$\log(A - Y) = \log A - KX \quad (7)$$

إن ثابت التكامل C يتناسب في هذه الحالة مع K
وذكران $C = K \cdot 0.434$

هذا ويمكن تحويل الصورة اللوغارتمية الى الصورة الاسية كالآتي : -

$$\log(A - y) = \log A - Cx$$

أي أن

$$\log(A - y) - \log A = - Cx$$

$$\log\left(\frac{A - y}{A}\right) = - Cx$$

$$\frac{A - y}{A} = 10^{-Cx}$$

$$A - y = A \cdot 10^{-Cx} \quad \therefore$$

$$-y = -A + A \cdot 10^{-Cx} \quad \therefore$$

$$y = A - A \cdot 10^{-Cx} \quad \therefore$$

$$y = A(1 - 10^{-Cx}) \quad (8) \quad \text{اي أن}$$

وهذه هي الصورة المبسطة لمعادلة مشرلش .

اقترح متشرلش فيما بعد ما سماه بقانون العلاقات الفسيولوجية والذي ينص على أن الحاصل يتوقف على جميع عوامل النمو كلها بمعنى أن إضافة أحد عوامل النمو الذي يوجد بمستوى غير محدد يزيد الحاصل بعكس ما كان يراه ليببيك من أن العنصر المحدد فقط هو الذي يؤثر ويؤدي إلى زيادة الحاصل بإضافته ويضيف متشرلش أن كل عامل يزداد أثره في زيادة الحاصل كلما قلت كميته ، ويفسر زيادة الحاصل بإضافة العنصر غير المحدد بأن النبات في هذه الحالة يحتوي نسبة منخفضة نوعاً ما من العنصر المحدد وأن إضافة العنصر غير المحدد يرفع كفاءة النبات للاستفادة بدرجة أكبر من العنصر المحدد .

والرأي الآخر لمتشرلش وباول هو النسبة المثوية للكفاية (Percentage sufficiency concept) وبمقتضى هذا الرأي فإن كمية معينة من عنصر ما تكون كافية لإنتاج نسبة معينة من المحصول الذي يمكن إنتاجه عندما يكون هذا العنصر موجوداً بوفرة بغض النظر عن وزن المحصول الناتج . وتطبيقاً لهذا الرأي أيضاً أنه إذا كان الفسفور موجوداً بكمية تكفي لإنتاج 90% من المحصول الأعظم عند توفر جميع عوامل النمو وكان البوتاسيوم في نفس الوقت موجوداً بكمية تكفي لإنتاج 80% من المحصول الأعظم فإن المحصول الذي يمكن الحصول عليه في مثل هذه الحالة هو :

$$72\% = 100 \times \frac{80}{100} \times \frac{90}{100}$$

وهذا يختلف عن قانون ليببيك الذي يعطي 90% ، 80% من الحاصل الأعظم لكل من الفسفور والبوتاسيوم على التوالي .

كما اقترح باول أنه إذا كان الناتج الأعظم 100% . وأن إضافة مقدار من عامل النمو ينتج 50% من المحصول الأعظم فإن إضافة مقدار آخر مساوٍ للمقدار الأول فإنها تعطي نصف الفرق بين المحصول الأعظم والمحصول السابق أي :

$$25\% = \frac{50}{2} = \frac{100 - 50}{2}$$

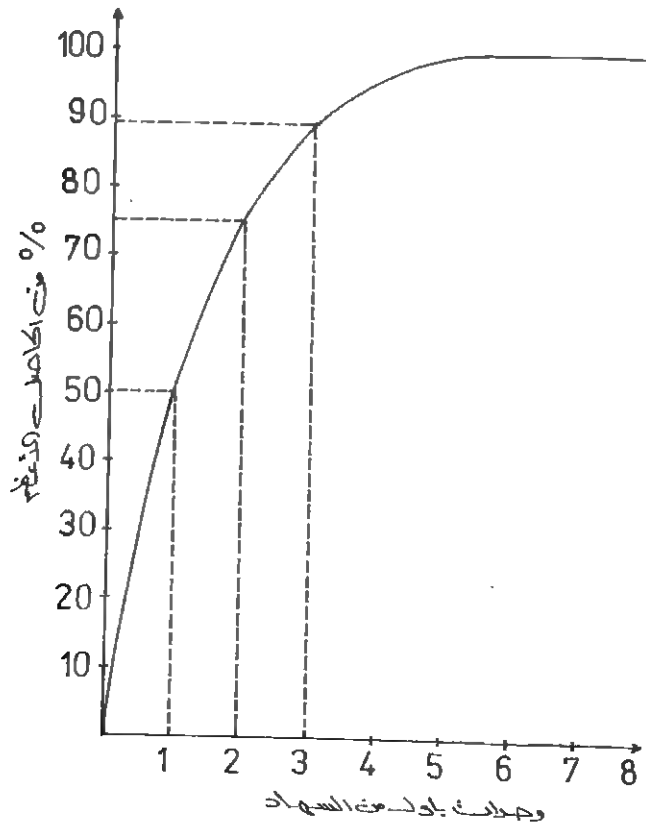
وبالتالي يكون الحاصل الناتج من الوحدتين معاً هو $50 + 25 = 75\%$ من المحصول الأعظم .

ويعطي المقدار الثالث ايضاً نصف الفرق بين المحصول الاعظم والمحصول السابق الناتج من الوحدتين أي

$$12.5\% = \frac{25}{2} = \frac{75 - 100}{2}$$

ويكون المحصول الناتج من الوحدات الثلاث هو $50 + 25 + 12.5 = 87.5\%$ من المحصول الاعظم وهكذا . وبعبارة اخرى فان الوحدة الثانية من العنصر المضاف تعطي 50% من الكمية التي تعطيها الوحدة الاولى وان الوحدة الثالثة تعطي ايضاً 50% من كمية حاصل الوحدة الثانية وهكذا . فلو فرض ان الزيادة في الحاصل الناتجة عن اضافة الوحدة الاولى هي 10 كغم فان الزيادة في الحاصل عن الوحدة الثانية هي 5 كغم ومن الوحدة الثالثة هي 2.5 كغم والرابعة 1.25 كغم وهكذا .

وقد عرف باول كمية العنصر او عامل النمو التي يحتاجها النبات ليعطي 50% من المحصول الاعظم بدليل الاستفادة (Efficiency index) وتعرف هذه الوحدات الآن بوحدات باول (Baule units) . كما يتضح ذلك من الشكل (4-6) .

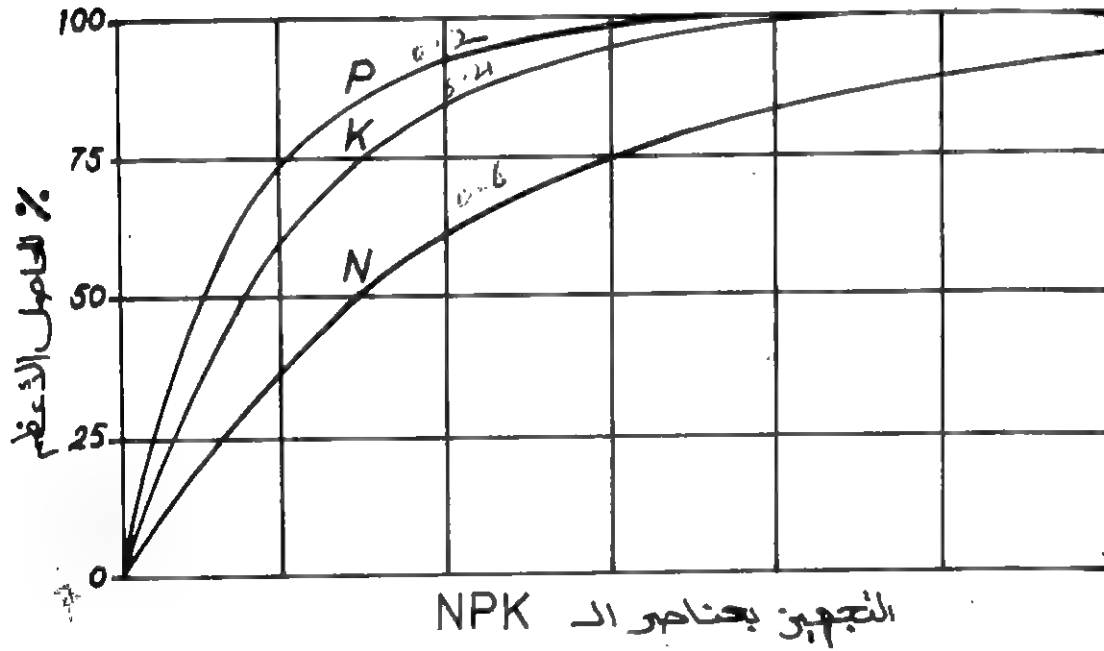


شكل (4-6) الاستجابة لوحدات باول من السماد معبراً عنها بنسبة مئوية من الحاصل الاعظم . عن : (بليغ ، عبدالمنعم ، 1973) .

وأهم الاعتراضات التي وجهت الى معادلة مشرلش هو ان قيمة الثابت (C) في المعادلة ليست ثابتة في حين ان مشرلش كان يرى انها تظل ثابتة بالنسبة لعنصر ما وانها لا تتغير بتغير التربة او النبات او المناخ او غيرها من عوامل النمو واطلق عليها معامل الاستفادة (Efficiency coefficient). ولقد وضع الباحثون هذه النقطة موضع الاختبار والدراسة فوجدوا ان قيمة (C) غير ثابتة وانها تتغير بتغير العنصر المدروس كما انها عرضة للتغير بتغير الظروف المحيطة للنبات او بتغير عوامل النمو الاخرى كما يتضح ذلك من الشكلين اللاحقين (4-8) ، (4-9) هذا ووجد ان وحدات الثابت (C) لكل من (N,K,P) هي (0.2 , 0.4 and 0.6) على التوالي

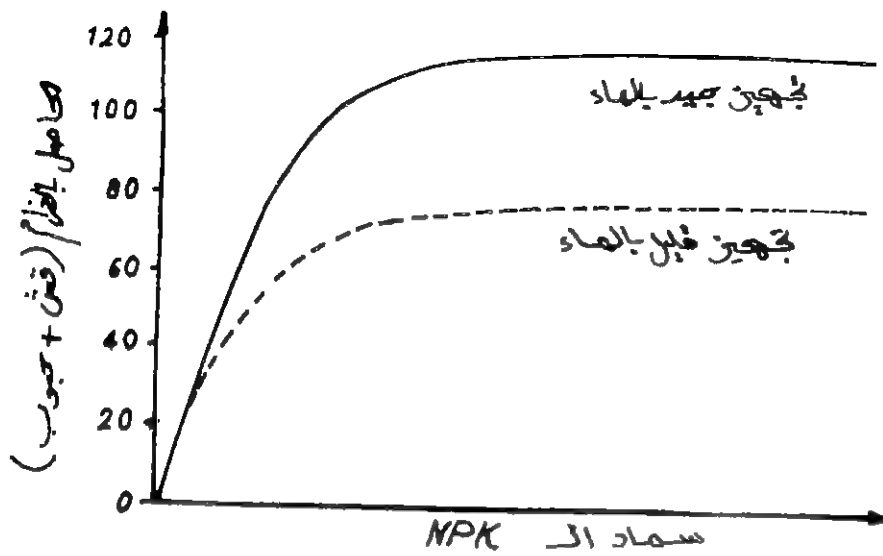
$$\frac{0.6}{\frac{3}{2}} = \frac{0.4}{1} = \frac{0.2}{\frac{1}{2}}$$

3:2:1

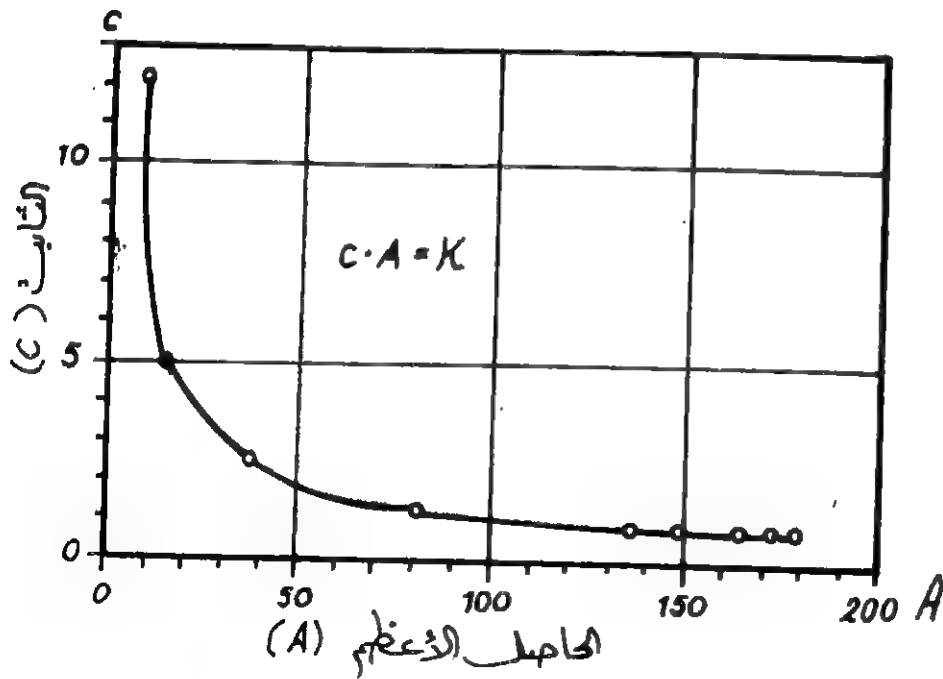


شكل (4-7) يبين منحنى الحاصل لـ N , P , K عن : (Boguslawski, 1956) .

كما وجد ان (C) تختلف ايضاً تبعاً لكيفية تغير عوامل الانتاج بعضها لبعض وكذلك فانها تختلف حسب النباتات وبالنسبة للنبات الواحد تختلف باختلاف العضو النباتي. فمثلاً انها تختلف بالنسبة للنبات الواحد حسب كمية مياه الري المعطاة كما يتضح ذلك من الشكل (4-8) .



شكل (8-4) يبين تغير الحاصل بتغير كمية الري .
عن : (Boguslawski, 1954)



شكل (9-4) توضيح للعلاقة بين قيمة الثابت (C) والحاصل الأعظم (A) .
عن : (Boguslawski, 1954)

ويلخص (Bogusławski 1954) ان قيمة الثابت (C) يمكن ان تتغير طبقاً للعوامل الآتية : -

- (1) نوع النبات .
- (2) للنبات الواحد باختلاف العضو النباتي .
- (3) حسب العنصر الغذائي المضاف .
- (4) الحاصل الاعظم (حيث انه يختلف باختلاف الاصناف حتى للنوع الواحد) .
- (5) كمية مياه الري المستخدمة او حسب كمية الامطار .
- (6) كيفية خلط او نسب عوامل الانتاج الى بعضها البعض .

4.4 - التغذية المعدنية ونوعية الحاصل

1.4.4 فكرة عامة

النوعية تشمل كل الصفات الجيدة والمرغوبة والتي يزرع من اجلها النبات . والنوعية ليس من السهل تعريفها او قياسها حيث ان كثيراً من صفات النوعية مثل الطعم او المذاق والرائحة والصلابة او الطراوة او سهولة وصعوبة الهضم وغيرها من الأمور والتي من الصعب في كثير من الاحيان قياسها او التعبير عنها كما ان التعامل معها يكون من الصعوبة بمكان عندما يكون الهدف من استعمال التغذية المعدنية هو تحسين النوعية ولكن من المعتاد غالباً ان يركز على قدرة النبات او مدى كفاءته واستجابته لتكوين المركبات العضوية المختلفة . كما ان النوعية تختلف حسب الغرض الذي يزرع من اجله النبات . فمثلاً الشعير المزروع لغرض البيرة تختلف نوعيته عن الشعير المزروع لغرض العلف للحيوانات حيث ان شعير البيرة يجب الا تزيد فيه نسبة البروتين عن 7% لانه لو زادت عن ذلك فيكون على حساب نسبة الكاربوهيدرات وهذا مما يقلل المستخلص الناجم من ناحية ومن ناحية اخرى تقل كفاءته لعملية التخمر ولهذا فان كثير من شركات صناعة البيرة ترفض استلام الشعير المزروع لغرض البيرة اذا زادت فيه نسبة البروتين عن 7% كما سبق وان اشرنا الى ذلك في حين ان الشعير المخصص لعلف الحيوانات يستحسن ان تزداد نسبة البروتين فيه لتحسين نوعية العلف ولضمان نمو الحيوانات المغذاة عليه بسرعة للتعجيل في سرعة بيعها في الاسواق وكسب فارق الاسعار .

وبالمثل فان الكتان المزروع لغرض الحصول على اليافه يختلف في نوعيته عن الكتان المزروع لغرض الحصول على الزيت منه ففي الاول يهمننا زيادة عدد السيقان وقوتها وبمعنى آخر فان الكثافة النباتية مطلوبة ولا يهمننا حاصل البذور وبالعكس بالنسبة للكتان المزروع لغرض الزيت فلا تهمننا السيقان بل يهمننا حاصل البذور .

كما ان البطاطا المخصصة لصناعة النشاء تختلف عن نوعية البطاطا المخصصة لغذاء الانسان وهكذا .

علاوة على ماتقدم فنود ان نشير في هذا المجال الى الدور المهم الذي تلعبه التربة المعدنية في حالة عدم ملاءمتها سواء بالزيادة او النقصان والى ما يمكن ان تحدث تشوهات بسبب نقصها او السمية بها سواء على شكل او مظهر او المحاصيل الزراعية .

وعلى هذا الاساس فإننا سنركز على العلاقات الاساسية بين التغذية و المركبات العضوية في النبات وكذلك ما تحدثه التغذية من تشوهات على محاصيل الحبوب وعلى الثمار او المحاصيل الجذرية والدرنات .

ويذكر أن العوامل الوراثية تلعب دوراً هاماً في تحديد النوعية ، كما ان ومستوى التغذية النباتية ونوعية المغذيات ووقت اضافتها تلعب دوراً هاماً . بلا ان محتوى الكاربوهيدرات في الانسجة الخازنة كالحبوب والثمار والدرنات يعود الى نشاط عملية التركيب الضوئي وكذلك الى معدل انتقال هذه العملية الى الاجزاء الخازنة .

لقد وجد ان كلا من الفسفور والبوتاسيوم يحفز عملية التركيب الضوئي . يحفز انتقال نواتجها من الاوراق الى الاجزاء الخازنة .

هذه النظرة هي نظرة فسيولوجية بحتة والتي توضح ان كلا من والبوتاسيوم او كليهما معاً يؤديان الى زيادة محتوى الانسجة الخازنة الكاربوهيدرات . كما وجد ان النحاس يمنع من الهدم المبكر للكلوروفيل فهو يزيد من عمر النبات ويرفع من كفاءة النبات في زيادة عملية التركيب وزيادة نواتجها .

2.4.4 - المحاصيل الجذرية والدرنية

إن وجود المستوى الملائم من البوتاسيوم يحفز تمثيل ثاني اوكسيد كما يحفز انتقال الكاربوهيدرات من الاوراق الى درنات البطاطة وه المحتوى العالي من النشاء في درنات البطاطا المجهزة بشكل جيد با (1966 Lachover and Arnon) . هذا التأثير يعتمد ايضاً على ن

البوتاسي المستعمل فمثلاً كلوريد البوتاسيوم يعطي محتوى واطيء من النشاء مقارنة بسماد كبريتات البوتاسيوم وهذا ربما يعود الى التأثير السليبي للكلوريد في انتقال الكاربوهيدرات من الاوراق الى الدرنات . ففي تجربة طويلة الامد قام بها (Terman 1950) حيث اضاف 800 كغم K_2O / لهكتار من سمادي كلوريد وكبريتات البوتاسيوم ولم يلاحظ فرقاً جوهرياً في الحاصل ولكن لوحظت فروقات واضحة في النسبة المئوية للنشاء في الدرنات كما هو مبين في الجدول (2-4) .

جدول (2-4) تأثير كلوريد البوتاسيوم وكبريتات البوتاسيوم في حاصل درنات البطاطا ومحتواها من النشاء (Terman, 1950) .

المعاملة	حاصل الدرنات طن / هكتار	النشاء %
KCl	2.81	13.3
K_2SO_4	2.82	14.6
$K_2SO_4 \frac{1}{2} + KCl \frac{1}{2}$	2.86	13.8

ان نوعية درنات البطاطا لاتتوقف فقط على نسبة النشاء في الدرنه التي تستعمل في انتاج النشاء بل يجب ان يكون هناك نسبة عالية من الاسترة بين الفوسفات ومجموعة الهيدروكسيل العائدة للنشاء حيث وجدت علاقة عالية بين النشاء ذو الدرجة العالية من الاسترة وبين اللزوجة العالية ولونها الناصع البياض . ولاحظ كل من (Gorlitz, 1966) و (Effmert, 1967) بان الفسفور لا يزيد من محتوى النشاء في الدرنات فحسب بل ايضاً يحسن من نوعية النشاء .

ان ظاهرة الاسوداد (Blackening) في درنات البطاطا المستخدمة في غذاء الانسان تقل باضافة السماد البوتاسي (Mulder, 1956) . كما وجد ان حساسية درنات البطاطا للضرر نتيجة الحصاد الميكانيكي والنقل تقل باضافة السماد الفوسفاتي (Patzold and Dambroth, 1964) .

اما نوعية البنجر السكري فتعتمد بدرجة رئيسية على محتوى السكر ووجد ان المركبات الامينية الدائبة والعناصر المعدنية وخاصة البوتاسيوم والصوديوم تعرقل عملية البلمرة (polymerization) للسكريات خلال عملية التكرير والتنقية

للسكريات وبذلك تؤثر في السكر الناتج . وما تجدر الاشارة اليه ان زيادة التغذية بالبوتاسيوم الى الحد غير الملائم سيؤدي الى زيادة نسبة البوتاسيوم في الجذور ويكون له في هذه الحالة نتائج سلبية حيث يؤدي الى تقليل نسبة السكر (Von Boguslawski and Schildbach, 1969) . والتغذية بالنيتروجين سواء من ناحية الكمية او من ناحية موعد الاضافة تلعب دوراً مهماً للمحاصيل التي تعتمد في حاصلها الاقتصادي على الكاربوهيدرات ومكوناتها كالسكر او النشاء . ففي المراحل الاولى من نمو النبات فهو ضروري للحصول على حاصل جيد غير ان الكميات الزائدة منه خاصة في المراحل الاخيرة من النمو فانه يحفز نمو الاوراق ويكون ذلك على حساب عملية ملء الدرنات او الجذور . فقد لاحظ كل من (Winner, 1968) , (Bronner, 1974) ان كثرة اضافة السماد النيتروجيني او زيادة الدفعة الاخيرة منه أدت الى تقليل السكر في محصول البنجر السكري كما أدت الى زيادة تركيز المركبات الامينية والعناصر المعدنية وهذا ينتج بسبب ان الانسجة تظل في مرحلة عدم النضج (Juvenile stage) كما اشار الى ذلك ايضاً (Forster, 1970) .

كما ان نوعية البنجر السكري لاتعتمد فقط على التغذية المعدنية بل انها تتأثر كذلك بالعوامل المناخية حيث وجد ان اعلى حاصل واحسن نوعية تكون عندما تتواجد شدة اضاءة عالية خلال الاسابيع الاخيرة من نمو النبات مع كمية مناسبة من الماء (Von Boguslawski and Schildbach, 1969) . ولاحظ ان الاملاح تؤدي الى نوعية رديئة حيث تقل نسبة السكر وهنا تكون نسبة المركبات الامينية الذائبة وكذلك العناصر المعدنية عالية مما يقلل من عملية البلمرة للسكر وانخفاض نسبة السكر المستخلصة كما سبق وان اشرنا الى ذلك .

كما وجد ان نقص البورون يؤدي الى ظهور القشور على درنات البطاطا كما انه يؤدي الى تعفن جذور البنجر السكري (Crown rot-and Brown heart disease).

3.4.4 - محاصيل الحبوب

يعتبر النيتروجين ضرورياً للحصول على حاصل عال ذو نوعية جيدة ويعتبر الكلوتين (Glutelin) اهم المركبات التي تحدد نوعية الحبوب المخصصة لعملية العجين (خبز وكيك ومعجنات) وهذه المادة موجودة في بروتين الحبوب المتواجد في القشرة الداخلية في الحبوب وهذه البروتينات هي كليادين (Gliadin) وكلوٲيلين (Glutelin) .

اما اضافة البوتاسيوم فتكون ضرورية لاستفادة النبات من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني ولتحسين نوعية الحبوب اي زيادة نسبة البروتين فيها (Primost, 1968), (Schafer and Siebold, 1972). ان نوعية البروتين الخاص كغذاء للانسان والحيوان وتقدر بالمحتوى من البروتين الخام (Crude protein) وكذلك بالمحتوى من الاحماض الامينية الاساسية (Essential amino acids) وهذه الاحماض الامينية الاساسية لا يستطيع الانسان او الحيوان من تكوينها في جسمه لان النبات وحده يستطيع تكوينها ولذلك يجب ان تضاف الى الغذاء المقدم للانسان والحيوان وهذه الاحماض الاساسية والضرورية هي Arginine, Valine, Lysine, Leucine, Isoleucine, Methionine, Threonine, phenylalanine, Tryptophane, Histidine, كما تبين ان هناك علاقة وثيقة بين محتوى البروتين في الحبوب ومحتوى الفيتامينات من مجموعة فيتامين B (Vitamin B-Complex) والتي هي Thiamine (Vit. B₁) Nicotinic acid, Riboflavin (Vit. B₂). حيث وجد ان اضافة الدفعة الاخيرة من النتروجين تحفز زيادة محتوى مجموعة فيتامينات (B) المركبة في الحبوب. وزيادة نسبة البروتين تضعف نوعية الشعير المخصص لصناعة البيرة (في عملية التخمير) ولذلك تفضل الاصناف ذات المحتوى الواطئ من البروتين والغنية بالكاربوهيدرات. في حين ان الفسفور والبوتاسيوم يؤدي الى حبوب غنية بالكاربوهيدرات اي جيدة التخمير (Schildbach, 1972).

كما ان الكميات الزائدة من النتروجين تؤدي الى زيادة النمو الخضري وتزيد عملية الاضطجاع (الزقاد) (Lodging) وقد يؤدي الى تقليل الحاصل ورياءة نوعيته والى قلة نسبة الكربوهيدرات فتكون الحبوب صغيرة وضامرة ونقصان عدم الحبوب في السنبلة الواحدة.

4.4.4 - الحاصل الزيتية :

لقد وجد (Schmalfluss 1963) أن زيادة مستوى التغذية بالنتروجين تزيد المحتوى من البروتين وتقلل نسبة الزيت . والتأثير الايجابي للمستويات المنخفضة من النتروجين في زيادة نسبة الزيت قد يرجع الى الهدم المبكر للاوراق مما يقلل من فرصة ملء البذور خلال مرحلة نضج البذور وهذا يعني قلة محتوى الكاربوهيدرات او البروتين وبالتالي زيادة نسبة الزيت .

أما البوتاسيوم والفسفور فضروريان لزيادة نسبة الزيت حيث يرفعا من كفاءة عملية التركيب الضوئي والتي تنعكس انجائياً على زيادة نسبة الزيت .

كما أن عنصرني الكالسيوم والبورون ضروريان لاتمام عملية الاخصاب والتلقيح والحصول على حاصل جيد من البذور .

5.4.4 - محاصيل العلف

إن نوعية محاصيل العلف (الحشائش ، الجت ، البرسيم) تتوقف على درجة الهضم والتي تعتمد على نسب السيليلوز ، الهيميسيليلوز واللكنين وزيادة هذه المكونات مع نقص نسبة البروتين الخام تؤدي الى تقليل جودتها للتغذية الحيوانية . والعناية بالسماد النتروجيني تزيد من البروتين الخام الضروري لنمو الحيوانات وانتاج الحليب والبيض والصوف الخ .

كما أن انتاج الحليب يحتاج الى كميات لا بأس بها من عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم والمغنيسيوم . يعتبر (1 ملغم 100/Mg مل من مصل الدم) هو الحد الحرج من المغنيسيوم وإلا أدى ذلك الى اصابة الحيوانات بمرض الكزاز (Grass tetany) .

كما وجد أن السمية بالمولبدنم تسبب نقص عنصر النحاس مما يسبب مرضاً يطلق عليه (Molybdenosis) أو (Teart) والذي يتميز باسهال شديد وضعف الحيوانات وخفض انتاجيتها من الحليب وتكون الحيوانات مترنحة نتيجة لضعف الدم حيث أن نقص النحاس يمنع دخول الحديد في تكوين هيموكلوبين الدم .

6.4.4 - محاصيل الخضر واشجار الفاكهة المثمرة

بالنسبة لمحاصيل الخضر الورقية مثل الخس والكرفس واللفت والمعدنوس تلعب التغذية بالنيتروجين دوراً مهماً لعلاقة النتروجين في تحفيز زيادة النمو الخضرية . كما أن النتروجين مهماً كما سبق في تكوين فيتامينات مجموعة (B) . وكذلك لعلاقة النتروجين المباشرة في تكوين الاحماض الامينية الاساسية والتي يعتمد كل من الانسان والحيوان على النباتات في الحصول عليها لعدم القدرة على تكوينها في اجسامها .

وبالنسبة لعلاقة التغذية بالفيتامينات فإن عناصر البوتاسيوم والنحاس والمنغنيز والبورون والزنك والمولبدنم لها دور مهم في زيادة فيتامين (C) .

ومما تجدر الإشارة إليه أن نقص التغذية المعدنية أو السمية بها أو عدم التوازن الغذائي المعدني يقود إلى أضرار كبيرة في حاصل ونوعية ثمار أشجار الفاكهة ويؤدي إلى حدوث تشوهات في الشكل واللون وكذلك في الطعم لتأثيرها المباشر في تكوين المركبات العضوية المختلفة. فعلى سبيل المثال أن نقص النتروجين في الحمضيات يقلل من عدد الثمار ويجعلها صغيرة الحجم سميكة القشرة ومنتفخة وهذه أيضاً أعراض واضحة في حالة نقص عناصر الكبريت والزنك والفسفور. أما نقص البوتاسيوم فيؤدي إلى تقليل نسبة السكر وزيادة نسبة الأحماض العضوية وهذا هو الحال عليه أيضاً في حالة النقص بعنصري الفسفور والبورون لعلاقتها المباشرة في عملية نقل السكريات من الأوراق إلى الثمار المخازنة لها لتكوينها استرات مع مجاميع الهيدروكسيل العائدة للسكريات وتسهيل عملية نقلها بهذه الطريقة. والسمية بالنتروجين تؤدي إلى تلون الثمار بلون غير طبيعي حيث تظل المنطقة القريبة من ثمرة الطماسة محتفظة بلونها الأخضر كما وجد أيضاً أن ثمرة البرتقال تكون مبقعة باللون الأخضر كما لوحظ تشقق وتمزق ثمار التفاح في حالة السمية بالنتروجين.

كما لوحظ أن الثمار التي كانت أشجارها تعاني من نقص عنصر البوتاسيوم تكون عرضة للتعفن أسرع من الثمار السليمة أثناء تخزينها أو نقلها وكما لوحظ جفاف حبات العنب (الزبيب).

والثمار التي تعاني من النقص بعنصر الفسفور تكون أيضاً عرضة للتمزق كما في حالة ثمار الخوخ.

أما نقص المنغنيز فيسبب تشقق وتمزق ثمار الخوخ ويؤدي نقصه كذلك إلى تشوه ثمار الموز حيث تكون قليلة العدد وقصيرة ونهايتها عليها نتوءات كثيفة وخضراء وكذلك إلى ظهور ظاهرة الـ (Marsh spot) في بذور البقوليات كالفاصوليا وفستق الحقل وإلى تشوه الجزر حيث يخرج من الجزرة الواحدة عدة جذور تشبه التوائم وتكون مغطاة بشعيرات جذرية كثيفة تقلل من نوعيتها.

كما أن نقص النحاس يؤدي إلى ظهور التصمغ على ثمار الحمضيات في مرض الاكزانثما (Exanthema) والمعروف في كاليفورنيا بمرض (Ammoniation) أو الموت التراجمي (Dieback).

علاوة على ذلك فإن نقص النحاس يؤدي إلى طراوة رؤوس البصل وتعرضها للتعفن كما هو الحال بنقص البوتاسيوم.

اما نقص الزنك فبالاضافة الى تأثيره في زيادة سمك غلاف ثمرة البرتقال وقلة عددها وصغر حجمها فانه يؤدي كذلك الى تشوه ثمار المشمش والاجاص والعرموط حيث تصبح بيضاوية الشكل وبالنسبة لثمار الافوكادو تصبح دائرية فاقدة شكلها الاصلي الذي يشبه ثمار العرموط . كما ان نقص الزنك يؤدي الى تشوه عناقيد العنب حيث يلاحظ صغر حجم العنقود مع وجود حبات صغيرة على العنقود او عدم تكونها مطلقاً ويجب عدم الخلط بين نقص النحاس وبين نقص البوتاسيوم والبورون حيث انه في حالة نقص البوتاسيوم تكون الحبات جافة ومجمدة كالزبيب اما في حالة نقص البورون فتحدث حبات كبيرة جداً وحبات صغيرة جداً ايضاً وتسمى هذه الظاهرة (Hen and chicken disease) .

كما ان نقص البورون يؤدي الى ظهور تراكيب فلينية خارجية وداخلية على ثمار التفاح External and Internal cork of apples . وكذلك الى ظاهرة وجه القرد في ثمار الزيتون Monkey face كما يسبب في ظهور القشور على درنات البطاطا والى تمزق ثمار التفاح والرمان والبرتقال والطماطة والى ظاهرة نزيز العنب وهناك اشارات الى احتمال وجود علاقة بين ظاهرة المسامير في الرقي والبطيخ والنقص بعنصر البورون .

اما نقص الكالسيوم فيؤدي الى ظاهرة النقرة المرة في ثمار التفاح (Bitter pit) والى تعفن الطرف الزهري في ثمار الطماطة والفلفل والباذنجان (Blossom end rot) وهناك احتمال لوجود علاقة بين تعفن الطرف الزهري في البطيخ والنقص بعنصر الكالسيوم .

واخيراً وليس اخراً فإن نقص عناصر الفسفور والبورون والمولبدنم تؤدي الى تلون زهرة القرنابيط بلون ارجواني ولكن بطبيعة الحال يمكن التمييز بينها بالاعتماد على ظواهر معينة اخرى تظهر على النباتات وتكون مصاحبة لذلك .



امتصاص وانتقال العناصر الغذائية

1.5 - فكرة عامة

تتمثل جذور النبات المواد العضوية والمعدنية . بصورة ايونية او غير ايونية، غير ان معظم العناصر الغذائية والضرورية للنبات تمتص بشكل ايونات مثل النتروجين بصورتي الامونيوم (NH_4^+) والنترات (NO_3^-) والفسفور على صورة H_2PO_4^- او HPO_4^{2-} والبوتاسيوم على هيئة K^+ والكالسيوم على شكل Ca^{2+} والكلور على صورة Cl^- الخ .

ان التعبير عن امتصاص العناصر الغذائية من الناحية الفسيولوجية هو تعبير غير دقيق حيث ان كل مادة توجد في داخل النبات يقال عنها انها قد امتصت . ولكن الطريق الذي تسلكه هذه المواد من الوسط الخارجي (محلول التربة) حتى تصل الى داخل خلايا النبات (السايتوبلازم والفجوة العنصرية) يبقى مجهولاً . كما انها لا تحدد المكان الذي تقوم به هذه المواد بالوظائف الحيوية للنبات ولا تبين العوائق التي تعترض سبيل هذه المواد والتي يجب ان تتخطاها اثناء امتصاصها وانتقالها من بيئتها الخارجية وحتى تصل الى داخل الخلايا . وكذلك لا تذكر في اي مكان توجد هذه المواد بصورة مؤقتة قبل انتقالها الى المكان الذي تقوم به فعلاً بوظائفها الحيوية .

ولفهم عملية امتصاص ايونات العناصر الغذائية وانتقالها يستحسن مراجعة تركيب الخلية النباتية والمقاطع الطولية والعرضية لتركيب الجذر والساق والاوراق وملاحظة تركيب الاغشية الخلوية كغشاء البلازما وغشاء الفجوة والبلاستيدة الخضراء والمايتوكوندريا الخ للتعرف على الحواجز

للتعرف على الحواجز او الفوائق التي تعترض عملية دخول هذه الايونات من البيئة الخارجية حتى تصل الى الساييتوبلازم والفجوة العصارية . والمعروف ان الخلية النباتية محاطة بجدار خلوي خارجي يوجد بداخله الساييتوبلازم بالاضافة الى العديد من الفجوات العصارية الصغيرة والتي ما تلبث ان تكون فجوة عصارية مركزية عند نضج الخلية النباتية . والساييتوبلازم يوجد في طور مائي حاوياً على العديد من العضيات (Organelle) الصغيرة المتخصصة في مختلف الوظائف الحيوية مثل الرايبوزوم (مكان تخليق البروتين) والمايتوكوندريا (مكان حدوث عملية التنفس الهوائي) والبلاستيدة الخضراء (مكان حدوث عملية التركيب الضوئي) والنواة المحتوية بالدرجة الاولى على الحامض النووي (DNA) الناقل للصفات الوراثية وهذه العضيات محاطة بأغشية (Membranes) كما ان الساييتوبلازم نفسه محاط بغشاء خارجي ملاصق لجدار الخلية هو غشاء البلازما (Plasalemma) وغشاء داخلي يفصله عن الفجوة العصارية هو غشاء الفجوة (Tonoplast) وتحتوي الفجوة العصارية على العديد من المواد العضوية ذات الوزن الجزيئي الصغير مثل السكريات والاحماض الامينية وبعض الانزيمات الضرورية لحياة النبات علاوة على احتوائها على ايونات العناصر الغذائية .

ومن هذا التركيب يتضح لنا ان امتصاص ايونات العناصر المعدنية من محلول التربة حتى الفجوة العصارية لا بد ان يخترق أولاً الجدار الخلوي ثم غشاء البلازما ثم الساييتوبلازم واخيراً غشاء الفجوة لخلايا الجذور ومن ثم يجب ان تنتقل بدورها الى خلايا الساق والاوراق لكي تدخل في العمليات الحيوية الضرورية لحياة النبات .

2.5 - الفراغ الحر او الفراغ الخارجي

Free Space or Outer Space

لقد بينت الدراسات وابحاث العاملين في مجال تغذية النبات ان انتقال جزيئات الماء وايونات العناصر المعدنية عبر الجدار الخلوي للجذر (البشرة والقشرة) من محلول التربة بعملية الانتشار (Diffusion) لا يواجه مقاومة تذكر حيث ان الجدار الخلوي يحتوي على مسامات تسمح لجزيئات الماء والايونات من المرور خلالها بحرية وقد اطلق على هذا الجزء من الجذر والسهل المنال (ذلك الجزء الذي تتحرك خلاله جزيئات الماء والايونات بحرية تامة وبدون أية مقاومة) بأسم الفراغ الحر (Free space) او الفراغ الخارجي (Outer space) وهذا الفراغ الحر يمثل حوالي 10% من حجم خلايا الجذر اما الفراغ الداخلي والذي يقارب 90% من حجم الخلايا (Inner space) فهو يمثل ذلك الجزء والذي يواجه فيه مرور جزيئات الماء والايونات صعوبة بعملية الانتشار .

والفرضيات والنظريات التي تتناول امتصاص الايونات المعدنية في الفراغ الحر تكون خاصة بالامتصاص الحر او السليبي (Passive absorption) أو غير النشط لانه غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات في حين ان ذلك الذي يتعلق بالجزء الآخر والذي يواجه صعوبة اثناء مروره فيعرف بالامتصاص النشط او الفعال او الحيوي (Active absorption) والذي يرتبط ببذل طاقة من قبل النبات الحي . ولقد وضع ابشتاين (Epstein 1955) معادلة عامة لحساب الفراغ الحر كالآتي :

$$\frac{\text{الايونات المنتشرة (ميكرومول / غم)}}{\text{تركيز المحلول الخارجي (ميكرومول / سم}^3\text{)}} = \text{الفراغ الحر}$$

$$= \frac{\text{ميكرومول}}{\text{غم}} \div \frac{\text{ميكرومول}}{\text{سم}^3}$$

$$= \frac{\text{ميكرومول}}{\text{غم}} \times \frac{\text{سم}^3}{\text{ميكرومول}} = \frac{\text{سم}^3}{\text{غم}} = \text{سم}^3 / \text{غم}$$

والدراسات قد دلت على ان الفراغ الحر لكثير من النباتات يتراوح من 0.1 الى 0.15 سم³ / غم من الوزن الطري للجذور . كما بينت التجارب ان الفراغ الحر يشمل المسامات البينية والجدران الخلوية لخلايا البشرة (Epidermis) والقشرة (Cortex) وحتى طبقة القشرة الداخلية (Endodermis) حيث يمثل شريط كاسبار (Casparian strip) الواقع فيها مباشرة الحد الفاصل للفراغ الحر .

كما أوضحت الدراسات التي قام بها العديد من الباحثين ان جدار الخلية النباتية وكذلك غشاء البلازما يحمل شحنة سالبة شأنه في ذلك شأن غرويات التربة (الطين والدبال) والتي ترجع الى مجاميع الكاربوكسيل التي تعود الى حامض البكتيك في الجدار وكذلك الى مجاميع الفوسفات التي ترجع الى الفوسفاتيدات في الغشاء . وعليه فإن هذه المجاميع السالبة الشحنة تقوم بجذب الكاتيونات اليها ومنعها من الخروج ثانية الى محلول التربة الخارجي في حين أنها تتنافر مع الانيونات (السالبة الشحنة)

وتطردها الى خارج الخلية وعلى ذلك فان توزيعا جديدا يطرأ على الايونات الداخلة الى الخلية والخارجة الى الوسط الخارجي وقد اطلق على هذا التوزيع بتوزيع دونان كما اطلق على هذا الجزء من الفراغ الحر والذي يمثل جزءا محدودا او ضيقا من الفراغ الحر باسم فراغ دونان الحر (Donnan free space) وهو يمثل 2% من حجم الجذر الكلي اي حوالي 20% من حجم الفراغ الحر .

كما ان الكاتيونات الملتصقة على سطح الجدار الخلوي قابلة للتبادل مع الكاتيونات الاخرى الموجودة في محلول التربة الخارجي وعلى هذا الاساس فان لجذور النباتات سعة تبادل كاتيوني خاصة بها وان هذه السعة تتوقف على نوع النبات فهي عالية للنباتات البقولية ومنخفضة للنباتات النجيلية جدول (5-1) كما انها تختلف في النبات الواحد على حسب عمره فهي عالية للنباتات الحديثة العمر وواطئة للنباتات المتقدمة في السن كما أنها تختلف حسب الـ pH لمحلول التربة والـ pH للمحلول الداخلي للنبات .

جدول (5-1) سعة التبادل الكاتيوني عن (Mengel 1968) .

النبات	سعة التبادل الكاتيوني (مليمكافيه / 100 غم مادة جافة)
الحنطة	23
الذرة الصفراء	29
الباقلاء	54
الطماطة	62

وبما تجدر الاشارة اليه ان الانتشار او الامتصاص التبادلي خلال الجدار الخلوي او عليه وكذلك توزيع دونان في الفراغ الحر لا يمثل عملية الامتصاص الحقيقية حيث لا يؤثر مباشرة في دخول الايونات الى السايتموبلازم ومنه الى الفجوة العصارية .

كما ان حجم الفراغ الحر يظل ثابتا وتكون الايونات في انتقال معاكس بمعنى ان الايونات تدخل من محلول التربة الى الفراغ الحر وكذلك تخرج من الفراغ الحر الى محلول التربة الخارجي .

كما ان دخول الايونات من محلول التربة الى الفراغ الحر يكون غير اختياري بمعنى ان النبات لا يميز في امتصاص الايونات الموجودة في وسط النمو الخارجي ويستمر دخول الايونات الحرة في محلول التربة الى داخل الفراغ الحر بواسطة عملية الانتشار الى ان يصبح التركيز في محلول التربة مساويا للتركيز في الفراغ الحر .

إن انتشار جزيئات الماء والايونات الى الفراغ الحر وكذلك الامتصاص التبادلي هو ما يعبر عنه بالامتصاص الحر او الامتصاص السلبي غير الحيوي . أما عملية دخول جزيئات الماء والايونات عبر غشاء البلازما والسايتوبلازم وغشاء الفجوة ومنها الى الفجوة العنصرية هو ما يعبر عنه بالامتصاص النشط او الفعّال او الامتصاص الحيوي حيث ان عملية اختراق واجتياز هذه الحواجز لا تكون بسهولة وتحتاج الى بذل طاقة من قبل النبات الحي .

ولقد اوضح (Epstein 1972) ان عملية الانتشار خلال الفراغ الحر او الفراغ الخارجي تحدث في النسيج الميت والنسيج الحي معا وهذا دليل آخر على ان الانتشار خلال الفراغ الحر غير حيوي او غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات الحي والا بماذا يفسر حدوثها في النبات الميت غير القادر على صرف اية طاقة حيوية .

3.5 - الانتقال الحيوي والانتقال الحر

Active and passive transport

تخضع الايونات المتواجدة في المحلول الى قوتين احدهما ناتجة عن القوى المتسببة نتيجة التغير في الجهد او التركيز الكيميائي (Chemical potential) والاخرى تنتج من التغير في الجهد الكهربائي (Electrical potential) (Dainty 1962) . والايونات يمكن ان تتحرك بتأثير التغير في التركيز الكيميائي حيث تنتقل الايونات من التركيز العالي الى التركيز المنخفض اما تحركها نتيجة للتغير بالجهد الكهربائي فهو انجذاب الكاتيونات الى الجهد الكهربائي السالب في حين انجذاب الانيونات الى الجهد الكهربائي الموجب . وعلى ذلك فان الايونات تتحرك تبعا للتغير في الجهد الكهروكيميائي (Electrochemical potential gradient) .

وكما ذكر سابقا فان الخلايا الحية تكون مشحونة بشحنات سالبة مقارنة بالوسط الخارجي . لذلك فان انتشار او نفوذ الايونات من خلال غشاء البلازما وغشاء

الفجوة يجب ان يؤخذ بنظر الاعتبار كعلاقة بالجهد الكهربائي السائد وكذلك مع التغير في التركيز بين وسط المحلول الخارجي والمحلول الداخلي الذي هو الساييتوبلازم . إن الانتشار الكاتيوني الميسر الذي شرح سابقا هو مثال نموذجي لتحرك الكاتيونات بفعل التغير الكيميائي .

ومحصلة هذه العملية للسيطرة الداخلية على حركة الكاتيونات تنتهي بحصول حالة التوازن بين القوى الكهربائية وقوى الطاقة الحركية (الناجمة عن الاختلاف في التركيز بين الخارج والداخل) .

هذا التوازن قد شرح بواسطة معادلة Nernst فمثلا المحلول المائي لكلوريد البوتاسيوم (KCl) ينفصل بواسطة غشاء نفاذ لكل من K^+ و Cl^- ولنفرض ان الجهد الكهربائي خلال الغشاء هو E ، لذلك فإن التوازن لكل من K^+ ، Cl^- يحصل عندما تكون تراكيز هذين الايونين في كل من جانبي الغشاء كافيا لتطبيق معادلة Nernst . الاتية :

$$\psi_i - \psi_o = E = \frac{RT}{Z.F} \ln \frac{[K_o^+]}{[K_i^+]} = \frac{RT}{Z.F} \ln \frac{[Cl_i^-]}{[Cl_o^-]}$$

حيث ψ_i = الشحنة الكهربائية للوسط الداخلي (الساييتوبلازم)

ψ_o ، = الشحنة الكهربائية للوسط الخارجي (المحلول المغذي)

E ، = فرق الجهد الكهربائي

R ، = ثابت الغازات (gas constant) ويساوي 1.987

T ، = درجة الحرارة المطلقة (273 + درجة الحرارة المثوية في وسط النمو)

F ، = ثابت فراداي (23000 كالوري / فولت)

Z ، = تكافؤ الايونات

\ln ، = اللوغاريتم الطبيعي ويساوي (2.3 \log_{10})

i ، o تمثل المحلول الداخلي والخارجي (Inner and outer solution) والقيم

بين الاقواس تمثل التراكيز وبصورة اذق نشاطات انواع الايونات في المعادلة . من

هذه المعادلة يمكن القول عندما يكون $\frac{K_o^+}{K_i^+}$ اقل من الواحد فإن E تكون

اقل من الصفر (الخلية مشحونة بشحنات سالبة) وهذا يعني تجمع لايون K^+ في

المحلول الداخلي . كما يجب ان يكون $\frac{Cl_i^-}{Cl_o^-}$ اقل من واحد . وهذا يفهم منه

ضمنيا بانه تحت ظروف التوازن فإن تركيز Cl^- في المحلول الخارجي يكون اعلى

من تركيزه في المحلول الداخلي. ومن هذا يتضح بان تركيز الكاتيون في السايوبلازم يمكن ان يكون اعلى باضعاف من تركيزه في المحلول الخارجي بدون الحاجة الى انتقال الكاتيونات الى الاعلى (Uphill transport) وبمعنى اخر دون الحاجة الى بذل طاقة من قبل النبات في صورة الـ ATP. ومثال على ذلك الانتقال ضد الانحدار الكهروكيميائي (electrochemical gradient) فلو فرض وكان تركيز K^+ للمحلول الداخلي هو 10 اضعاف تركيزه في المحلول الخارجي فإن لوغاريتم $1 - \frac{K_o^+}{K_i^+}$

ويكون الفرق في الجهد الكهربائي المطابق لذلك هو -58 مليفولت (Dainty, 1962). ويعتبر فرق الجهد الكهربائي مليفولت هي (-58) صغير في الامتصاص الحية. هذا المثال يوضح بان K^+ وانواع اخرى من الكاتيونات ربما تجتمعت الى حد ملحوظ في الخلية بالقوى الفيزيائية وليس بغيرها من القوى وهذا يعني ايضا ان الكاتيونات قد انتقلت في هذه الحالة بعملية الامتصاص الحر او غير الحيوي. ولكن عندما يكون التركيز في حالة اعلى من التركيز في ظروف التوازن عندئذ يحصل انتقال الى الاعلى (الانتقال ضد الانحدار الكهروكيميائي) في المعنى الديناميكي الحراري (Thermodynamical) التام. والانتقال ضد الانحدار الكهروكيميائي يسمى بالانتقال الحيوي (Active transport) في حين الانتقال الى الاسفل (Downhill) او في اتجاه الانحدار الكهروكيميائي يسمى بالانتقال الحر او غير الحيوي (Passive transport). ان الانتقال الحيوي يحتاج الى طاقة اضافية ولا يمكن ان يحدث بواسطة الطاقة الحركية الناتجة عن الفرق في التركيز لايون في المحلول الداخلي والخارجي او القوى الكهربائية فقط (Etherton and Higinbotham, 1963).

ولفرض معرفة فيما اذا كانت الايونات قد انتقلت حيويًا او بطريقة حرة من المحلول الخارجي الى الخلية فإن تراكيز الايونات في الوسط الخارجي وفي داخل الخلية يجب ان تقاس وكذلك الجهد الكهربائي (E_m) بين الخلية والوسط الخارجي وهذا يمكن الحصول عليه باستعمال الاقطاب الكهربائية السديقية (Microelectrode). وبتعويض التراكيز المقاسة في معادلة Nernst فانه يمكن حساب الفرق بالجهد الكهربائي (E_{cal}) المحسوبة. وبما ان E_m توضح الجهد الكهربائي المقاس فهذا فإن الفرق بين E_m ، E_{cal} (اي E_d) تفسر فيما اذا كان الايون قد انتقل حيويًا او سلبيا.

$$E_m - E_{cal} = E_d$$

E_d هي القوى الناقلة للايونات.

فاذا كانت القيمة Ed سالبة اي ان القيمة المحسوبة اكبر من القيمة المقاسة فهذا يدل على الامتصاص السلبي غير الحيوي للكاثيونات وعلى العكس فالقيمة الموجبة لـ Ed اي ان القيمة المحسوبة اقل من القيمة المقاسة فهذا يدل على الامتصاص الحيوي للكاثيونات .

والعكس صحيح تماما بالنسبة للانيونات فالقيمة الموجبة لـ Ed يدل على الانتقال غير الحيوي للانيونات والقيمة السالبة لـ Ed يدل على الانتقال الحيوي للانيونات . ويجب ان يبقى في الذاكرة بان مثل هذا القياس لمعرفة فيما اذا كان الامتصاص حيويا او غير حيوي للانيونات يكون صحيحا فقط عندما تكون ظروف التوازن محافظ عليها في النظام . ومثل هذه الحالة صعبة المنال ولا يمكن الحصول عليها في دراسات النبات ككل حيث ان قمم النبات تكون كمستقبل (Sink) قوى للانيونات الممتصة من قبل الجذور .

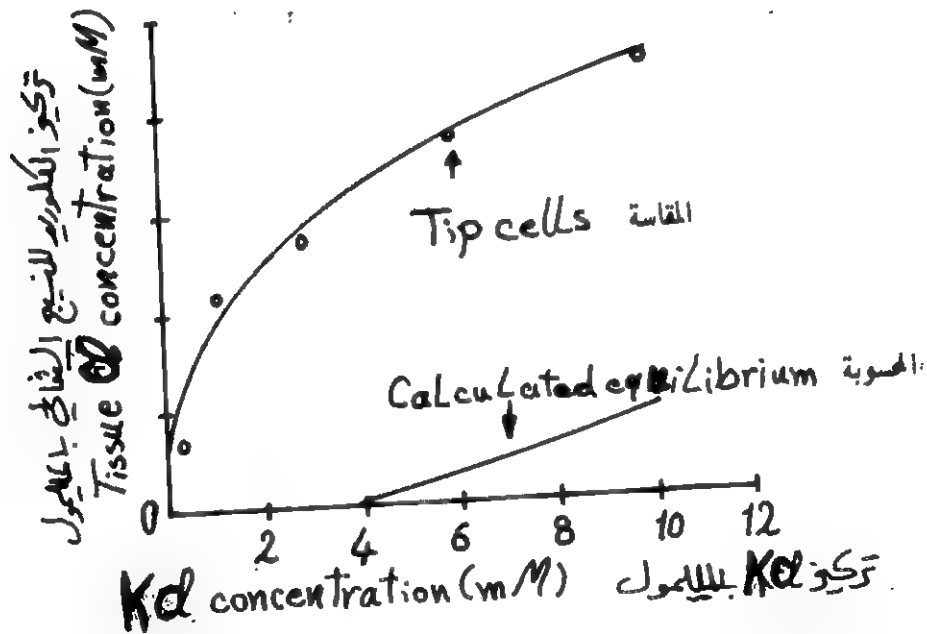
لقد قام (Spanswick and Williams, 1964) بقياس الفروقات بين الجهد الكهربائي وتراكيز الايون في الوسط الخارجي وداخل خلية Nittella ونتائج هذه التجربة موجودة في الجدول (2-5) .

جدول (2-5) قيم Em المقاسة و Ecal المحسوبة والقوى الناقلة (Ed) الناتجة .
الارقام من الدراسة التي اجريت على (Spanswick) Nitella translucens (and Williams, 1964)

نوع الايون	القيمة المقاسة	القيمة المحسوبة	قيمة القوى	نوعية الامتصاص
	Em	Ecal	Ed	
	(مليفولت)	(مليفولت)	(مليفولت)	
	mV	mV	mV	
Na ⁺	138 -	67 -	71 -	غير حيوي
K ⁺	138 -	179 -	41 ⁺	حيوي
CL ⁻	138 -	99 +	237 -	حيوي

وحيث ان الخلايا الحية تكون دائما مشحونة بشحنات سالبة . فمن هنا يتبين بأن الانيونات هي معرضة للانتقال الحيوي اكثر من الكاتيونات وعندما يكون تركيز الانيونات للخلية أكثر من تركيزها في الوسط الخارجي فان هذا يدل على الامتصاص الحيوي (anions) قد حدث وأن الانيونات الرئيسية Cl^- , NO_3^- , H_2PO_4^- , SO_4^{2-} قد تجمعت ضد الانحدار الكهروكيميائي (Higinbotham, 1973).

إن الشكل (1-5) يوضح النتائج التي تم الحصول عليها من اطراف جذور نبات الماش mung bean (*Phasoulus aureus*) حيث تم في هذه الدراسة مقارنة قيم Cl^- المتصصة المقاسة مع مستويات Cl^- المتصصة والمشتقة من معادلة Nernst للتوازن (Gerson and Poole, 1972) والذي يستدل منه بحدوث امتصاص حيوي للـ Cl^- حيث كانت تراكيز Cl^- المقاسة اكثر من قيمة Cl^- المحسوبة باضعاف .



شكل (1-5) تركيز Cl^- في اطراف جذور نبات الماش mungbean مقارنة مع تركيزه عند الحد الاعلى والذي كان سببه الانتشار للتوازن المحسوب .
عن : (Gersa and Poole, 1972).

أما بالنسبة للكاتيونات فتكون الحالة مختلفة بسبب الشحنات السالبة للمخلة
أن الكاتيونات ربما تتجمع في الخلية بواسطة قوى فيزيائية غير حيوية .

ولقد قام (Higinbotham, 1973) بعدة تجارب أوضح فيها بأن تركيز Na^+
, Ca^{2+} , Mg^{2+} في خلايا النبات لا تزيد عن مستوى التوازن الفيزيائي ولهذا
فإنها تمتص بصورة حرة أي غير حيوية . ومع ذلك فتوجد تجارب توضح أن
البوتاسيوم قد امتص حيويًا . وقد أيد ذلك (Davis and Higinbotham, 1976)
بأن البوتاسيوم يتمص حيويًا ووجدوا بأن K^+ قد انتقل ضد الانحدار
الكهروكيميائي من خلايا النسيج الحشوي (Parenchyma) إلى داخل الأوعية
الخشبية (Xylem vessels) لجذور نبات الذرة الصفراء .

إن الاختلاف بالجهد الكهربائي بين الخلية والوسط الخارجي يعتمد على النشاط
الحيوي للنبات فقد لاحظ (Jeschke, 1970) بأن الجهد الكهربائي في خلايا ورقة
نبات (*Elodea densa*) في الضوء كان -180 مليفولت في حين كان في الظلام
-120 مليفولت . وفي الوقت الحاضر أصبح مقبولا بأن الشحنات السالبة في الخلية
ناجمة عن فرضية الضخ الأيوني. والتي سيأتي شرحها . أن حوامل الكاتيونات
والأنيونات يجب أن ينظر إليها على أنها خاضعة لفكرة الضخ الأيوني كذلك .

وطبقا للدراسات التي أجراها (Cheeseman and Hanson, 1979)
واللذان اقترحا أنه في حالة التراكيز المنخفضة للبوتاسيوم أي أقل من 0.5 ملليمول
فإن البوتاسيوم ينقل حيويًا إلى داخل الخلية بواسطة الـ ATPase ، بينما في
التركيز العالي من الـ K^+ فإن البوتاسيوم يتمص سلبيًا بطريقة حرة . بسبب التغير في
الجهد الكهروكيميائي المائد إلى فرضية الضخ الأيوني للهيدروجين (H^+ -Pump)
والتي يفترض بأنها تعتمد على نشاط الأنزيم الـ ATPase .

4.5- الفرق بين الامتصاص السلبي والامتصاص الحيوي

(أ) الامتصاص السلبي (الحر أو الفيزيائي) Passive absorption

(1) امتصاص غير حيوي (غير مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات)

(2) امتصاص متعاكس Reversible

(3) غير اختياري Non Selective

Active absorption

(ب) الامتصاص الحيوي (النشط أو الفعال)

(1) مرتبط ببذل طاقة من قبل النبات

Irreversible

(2) امتصاص غير متعكس

Selective

(3) اختياري

5.5 - النفاذية والاختيارية في امتصاص ونقل الايونات

Permeability and Selectivity for ion uptake and transport

إن الجدار الخلوي كما أشرنا الى ذلك سابقا لا يمثل أي عائق لمرور أيونات العناصر الغذائية خلاله غير أن غشاء الخلية (Plasmalemma) هو غشاء متميز النفاذية differentially permeable بمعنى أن له القابلية على التمييز بين الايونات المختلفة حيث يسمح لنفوذ بعضها ويمنع مرور الأيونات الأخرى مع الأخذ بعين الاعتبار ضرورة توازن الايونات الموجبة والسالبة الشحنة داخل الخلية كهربائيا . وبعبارة أخرى إن للنبات القدرة في اختيار وامتصاص أيونات العناصر الغذائية وكذلك أنواعها وهذا يعني ان الامتصاص لا يتناسب طرديا مع تركيز الايونات المتواجدة في محلول التربة أو وسط النمو . فعلى سبيل المثال وجد أن معدل مرور أيونات العناصر المعدنية من محلول التربة الى داخل الخلية يعتمد على الشحنة الكهربائية حيث تنفذ الايونات الاحادية الشحنة (Monovalent) كالنترات NO_3^- والكلوريد Cl^- والبوتاسيوم K^+ والصوديوم Na^+ والامونيوم NH_4^+ أسرع من الايونات الثنائية الشحنة كالكبريتات SO_4^{2-} والكالسيوم Ca^{2+} .

وبما تجدر الإشارة اليه انه عند امتصاص أيون ما فان توفر أيون مشابه له في الشحنة في وسط النمو قد يؤدي الى بطء عملية امتصاص الايون الأول أو قد يزيد من امتصاص الأيون الأول وفي حالات أخرى قد يؤثر أيون على أيون آخر في عملية الامتصاص .

وعلى سبيل المثال وجد أن أيون البوتاسيوم يقلل من امتصاص ايون الصوديوم والعكس صحيح حيث أن وجود أيون الصوديوم يقلل من امتصاص أيون البوتاسيوم وبالمثل فإن كلا من أزواج الايونات (K^+ , NH_4^+) ، (Ca^{2+} , Mg^{2+}) ينافس كل منها الآخر في عملية الامتصاص .

في حين وجد (Viets 1944) في تجاربه على جذور الشعير المقطوعة ان وجود الكالسيوم في وسط النمو يزيد من محصلة امتصاص البوتاسيوم (محصلة امتصاص البوتاسيوم = البوتاسيوم الممتص الداخل الى الخلية مطروحا منه البوتاسيوم الخارج من

الخلية الى الوسط الخارجي) (Net K-absorption = (K-Influx)-K-efflux) والشيء المثير في هذا الموضوع هو أن الكالسيوم الموجود في داخل الجذور لم يكن له أي تأثير في زيادة محصلة امتصاص البوتاسيوم . ولهذا فانه قد أرتوي ضرورة وجود الكالسيوم في وسط النمو الخارجي . إن هذا الاكتشاف في تأثير الكالسيوم يقترح بأن الكالسيوم يلعب دورا مهما في الحدود الخارجية بين المحلول الغذائي وغشاء البلازما وليس نتيجة الايض الحيوي للخلية . إن تأثير Viets قد فسر من قبل العديد من الباحثين بطرق مختلفة . فقد ارتأى كل من (Kahn and Hanson 1957) بأن الكالسيوم يحفز الحوامل الوسطية للنقل في حين اعتقد (Pitman 1965) بأن الكالسيوم يزيح الحاجز الهيدروجيني (H^+ - barrier) وبهذا يمكن تسهيل عملية دخول الايونات الى الخلايا . غير ان (Mengel and Helal 1967) افترضوا بأن الكالسيوم يقلل تدفق البوتاسيوم الى الخارج (efflux) وليس في امتصاص البوتاسيوم الى الداخل (Influx) وبالتالي تكون المحصلة النهائية هي زيادة معدل امتصاص البوتاسيوم .

وبما تجدر الاشارة اليه ان نفاذية الغشاء تتوقف على المركبات الجزيئية الداخلة في تكوينه وان نفاذية الاغشية للايونات المعدنية مختلفة فقد لوحظ مثلا ان الغشاء الخارجي للمايتوكوندريا كثير النفاذية بينما الغشاء الداخلي لها يكون حاجزا لهذه الايونات . كما بين (Cram 1973) بأن غشاء البلازما لجذور الذرة الصفراء يكون ذو نفاذية جيدة لـ Cl^- في حين ان غشاء الفجوة ذو نفاذية قليلة له .

ان العوامل الخارجية تؤثر كذلك في نفاذية الغشاء الخلوي فقد وجد أن نفاذية الغشاء للايونات المعدنية تعتمد بصورة ملحوظة على تركيز H^+ ، Ca^{2+} في الوسط المتأخم . ووجد (Jacobson et al. 1950) في تجاربهم على جذور الشعير الحديثة بانه عند الرقم الهيدروجيني pH (4.5) يحدث تسرب للبوتاسيوم حيث أن الهيدروجين يزيد من نفاذية الغشاء . ويرى (Mar schner and Mengel 1966) ان وجود الكالسيوم يكون ضروريا خاصة في الوسط ذي الرقم الهيدروجيني المنخفض للمحافظة على سلامة الغشاء والتقليل من تسرب البوتاسيوم من داخل الخلية الى الوسط الخارجي لنمو النبات . وطبقا لما جاء به (Stevenink 1965) فإن الكالسيوم ربما يؤثر في النفاذية وذلك بربط الشحنات السالبة للبلازما مع جدار الخلية في حين ان الكاتيونات/الآخري تشترك بصفة اساسية مع البروتوبلازم وهذا يوضح لماذا هذه الكاتيونات لا تغير من نفاذية الغشاء مقارنة بالكالسيوم . وان التفاعل المتداخل بين H^+ ، Ca^{2+} هو مثال نموذجي للتضاد الايوني

(Antagonism) حيث ان الايونين يعملان بصورة مختلفة . فاذا ازيل الكالسيوم العائد للفشاء باستبداله بالهيدروجين (1967 Mengel and Helal) أو بأستعمال المواد الخلبية (1965 Steveninck) فان نفاذية الفشاء تزداد بصورة ملحوظ ويحصل نضوح الايونات والمركبات العضوية ذات الوزن الجزيئي الواطيء . وبمعنى اخر فإن نقص الكالسيوم في المحلول الخارجي او عند الحدود المحيطة بالخلية يؤدي الى معدل تدفق عال الى الخارج ولهذا فإن غياب الكالسيوم في محلول التربة يكون هو المسؤول عن نضوح أيونات العناصر الغذائية من جذور النبات الى محلول التربة .

اما التأثير المضاد (Antagonism) غير معروف كثيرا في الامتصاص الانبوني بالرغم من ان امتصاص Cl^- ، SO_4^{2-} و $H_2PO_4^-$ يمكن ان يحفز بقلة امتصاص NO_3^- بشدة (1977 Kirkby and Knight) . والتأثير المضاد او التزاحمي الاكثر انتشارا هو بين Cl^- ، NO_3^- حيث وجد ان التجهيز العالي بالكلوريد في الوسط الغذائي يقلل من امتصاص النترات والعكس صحيح .

وفي تغذية النبات يكون التأثير التشجيعي (Synergism) بمعنى زيادة امتصاص أيون نتيجة لوجود أيون اخر في وسط النمو هو عكس التأثير المضاد (Antagonism) . والعلاقة التشجيعية تحصل بين أيونين غذائيين عندما يحفز امتصاص عنصر نتيجة لوجود عنصر اخر وعلى سبيل المثال فإن التغذية بالنترات تشجع امتصاص الكاتيونات وهذا التأثير غير متخصص . فالتغذية بالنترات يكون لها كما هو معروف تأثير فسيولوجي قاعدي اي انها تؤدي الى افراد مجاميع الهيدروكسيل على سطح الجذور مما يزيد من شحنته السالبة وبالتالي يقوم النبات بامتصاص الكاتيونات لمعادلة هذه الشحنة .

كما وجد ان للفسفور تأثير مفيد في زيادة امتصاص المغنيسيوم والعكس صحيح ايضا . كما ذكر ان للمولبدنم تأثير مفيد في امتصاص الفوسفات وان للسيكات تأثير مفيد في امتصاص الفوسفات كذلك .

اما بالنسبة للتأثيرات المضادة (Antagonism) فإن كلا من الكبريتات والبيكربونات والزرنيخات AsO_4^{2-} تقلل من امتصاص الفوسفات (Mengel, 1968) . اما تأثير الايونات المتعاكسة في الشحنة فقد وضحته التجارب التي قام بها (Luttge and Laties, 1966) بان امتصاص أيونات البوتاسيوم وانتقالها حيويا لا يتأثر بامتصاص وانتقال أيونات الكلوريد او الكبريتات السالبة الشحنة .

وعند امتصاص الايونات الموجبة والسالبة للمح ما وبمعدلات مختلفة فإن النبات يلجأ الى احداث بعض التعديلات والتحويلات في أيضه الحيوي لمعادلة الاختلاف في التوازن الناتج عن ذلك. فمثلا ان امتصاص البوتاسيوم يكون اسرع من امتصاص الكبريتات وهو الانيون المصاحب مما يجعل النبات يكون بعض الاحماض العضوية في حالة أيونية سالبة مثل حامض الستريك أو الاوكزاليك أو المالكيك وذلك لمعادلة تأثير زيادة البوتاسيوم او قد يلجأ لاجراج كميات مكافئة من ايونات الهيدروجين كما اشار الى ذلك (Ulrich, 1941).

اما التداخل الايوني الذي شرح سابقا فقد فسر بانه تأثير تبادلي غير متخصص وليس عملية تزاخم على الحامل او الناقل (Carrier) وهذا لايعني بأن عملية التزاخم على الناقل لا تحدث بعملية الامتصاص. فقد بينت الدراسات العديدة بان هناك تنافساً بين انواع الايونات ذات العلاقة أو الترابط الوثيق مثل K^+ و Rb^+ او Ca^{2+} ، Sr^{2+} (Micheal, 1959) او بين ازواج الايونات SO_4^{2-} ، SeO_4^{2-} (Leggett and Epstein, 1956) والفوسفات والزرنيخات (Micheal and Marschner, 1958).

6.5- النظريات المختلفة المتعلقة بالامتصاص السلبي

1.6.5- نظرية الانتشار Diffusion theory

هي عملية انتقال ايونات العناصر الغذائية من التركيز العالي الى التركيز المنخفض الى أن يتساوى تركيز هذه الايونات في محلول التربة وفي الفراغ الحر للجذر التابع لهذه النباتات.

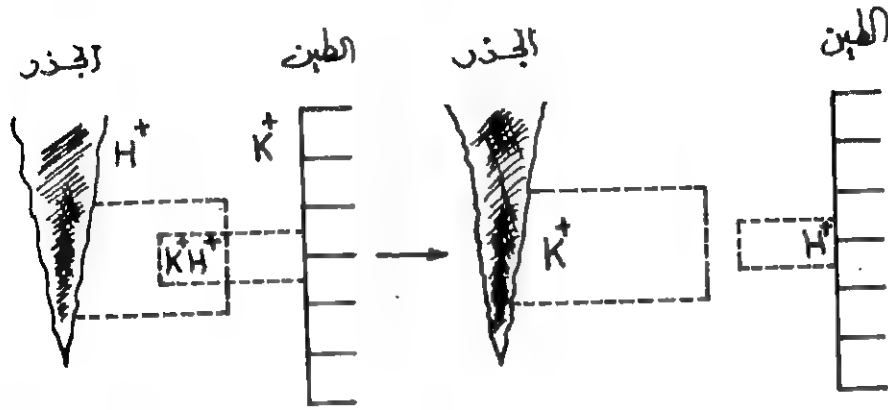
2.6.5- الامتصاص التبادلي على سطح الجدار الخلوي وغشاء البلازما

حيث ان الجدار الخلوي وغشاء البلازما محلان بشحنة سالبة فإن الكاتيونات المتواجدة في محلول التربة يمكنها ان تمص عليها وهذه بدورها يمكنها ان تتبادل فيما بعد مع الكاتيونات الموجودة في محلول التربة كما سبق وان بينا ان لجذور النباتات سعة تبادل كاتيوني.

3.6.5- التبادل بالتاس Contact exchange

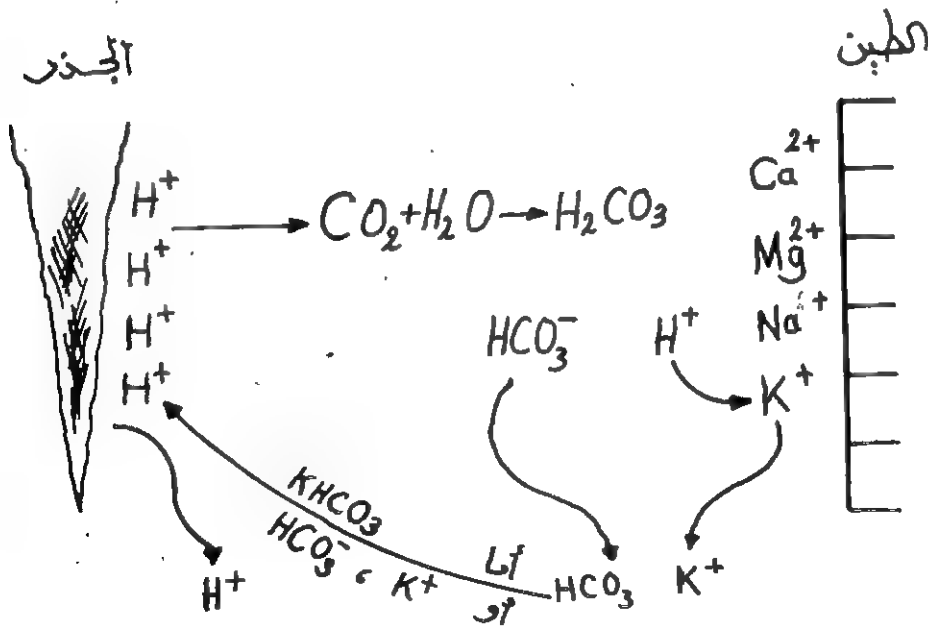
حيث يحدث تبادل بين الكاتيونات المتبادلة على سطح الجذر مع الكاتيونات المتبادلة على غرويات التربة (الطين والدبال) ويحدث ذلك دون ان يكون لماء التربة (محلول التربة) اي دور ويتم ذلك عندما تتداخل حقول التذبذب (Field oscillation) لحبيبة طين مع الجذر وعندما تكون الايونات التابعة لكل منها

متواجدة في نهاية حقل التذبذب فيمكن ان يحدث تبادل لهذه الايونات ما بين حبيبة الطين والجذر كما يتضح ذلك من الشكل (1-5).



شكل (1-5) التبادل بالتاس Contact exchange
محرر عن : (Delvin, 1966)

4.6.5- امتصاص الكاتيونات من التربة ودور غاز CO_2
أن الشكل (2-5) يوضح كيفية انتقال الكاتيونات المتبادلة على سطح الطين لغروي لكي تصل الى سطح الجذر. ويمكن تلخيص العملية بما يأتي:



شكل (2-5) يوضح دور CO_2 في عملية التبادل الايوني بين الجذر والطين. عن (Fenny and Overstreet, 1939)

- (1) ينبعث CO_2 من تنفس الجذور ويذوب في الماء مكونا حامض الكربونيك H_2CO_3
- (2) ينتشر الحامض من حيث التركيز العالي (جدار الجذر) الى التركيز المنخفض (الطين الغروي).
- (3) يتأين هذا الحامض الى H^+ و HCO_3^-
- (4) يحمل ايون الـ H^+ محل الكاتيون المتبادل (k^+ مثلا) على سطح الطين الغروي مما يزيد من حموضة الطين.
- (5) الكاتيون المتبادل مع الـ H^+ يتفاعل مع HCO_3^- ويتجه الى الجذر.
- (6) عند سطح الجذر يتبادل البوتاسيوم مع هيدروجين الجذر وينفرد الهيدروجين الى محلول التربة.

ولاثبات ان الطين الغروي تزداد حموضته اثناء التبادل بين هيدروجين الجذر والكاتيون المتبادل على سطح الطين فقد قام العالم Jenny بأجراء تجربة حيث نمت بادرات فول الصويا في معلق طين كالسيومي تفاعله (pH) 6.3 وبعد فترة أخذت البادرات من المعلق وحملت كيميائيا فظهر في المعلق مقدار 1.2 ملليمكافيه من الكالسيوم كما وجد مقدار 0.948 ملليمكافيه من الهيدروجين على جيببات المعلق لم تكن موجودة قبل اجراء التجربة وبقياس الـ pH للمعلق وجد انه قد انخفض الى 4.32 بدلا من 6.3 عند بداية التجربة.

5.6.5 - توازن دونان Donnan equilibrium

لاحظ دونان ان الايونات السالبة التي دخلت الى الفراغ الحر قد مسكت ومنعت من الخروج بمعنى انها قد ثبتت في الخلية وهذا يتعارض مع مفهوم الانتشار. وعند انتشار اعداد متكافئة من الايونات السالبة والموجبة الى داخل الخلية عبر غشاء الخلية فيحدث توزيع غير متساو للايونات على جانبي الغشاء حيث وجد:

- (1) عند نقطة التوازن يكون تركيز الايونات الموجبة الشحنة مساويا لتركيز الايونات السالبة الشحنة في كل من جانبي الغشاء سواء كانت الايونات قابلة للانتشار او غير قابلة للانتشار (مثبتة) مثل البروتينات السالبة الشحنة أي أن:

أ) خارج الخلية

$$C^+ = I^-$$

حيث C^+ هو مجموع تراكيز الكاتيونات الموجبة الشحنة ، I^- هو مجموع تراكيز الانيونات السالبة الشحنة .
ب) داخل الخلية

$$C^+ = I^- + F^-$$

حيث C^+ ، I^- هما التركيزين المكافئين للأيونات الموجبة والسالبة والمنتشرة الى داخل الخلية ، F^- هي تركيز الانيونات السالبة الشحنة والمثبتة داخل الخلية .

(2) عند نقطة التوازن يجب ان يكون حاصل ضرب تركيز الكاتيونات الموجبة القابلة للانتشار X تركيز الانيونات السالبة القابلة للانتشار على جانب من الغشاء مساويا لحاصل ضرب تركيز الكاتيونات الموجبة القابلة للانتشار X تركيز الانيونات السالبة القابلة للانتشار على الجانب الآخر من الغشاء . اي ان :

$$(Co^+) (Io^-) = (Ci^+) (Ii^-)$$

داخل الخلية خارج الخلية .

ونتيجة لذلك يكون مجموع تركيز الانيونات السالبة الشحنة داخل الخلية اكثر من تركيزها خارج الخلية . ولأجل ان يتم التوازن الكهربائي يجب ان تمر ايونات موجبة اضافية عبر الغشاء لمعادلة الايونات السالبة الشحنة والمثبتة في داخل الخلية وهذا يؤدي الى ان يصبح تركيز الايونات الموجبة في الخلية اكثر من خارجها بعكس تركيز الايونات السالبة الشحنة .

وبما تجدر الاشارة اليه ان فكرة دونان تأخذ بنظر الاعتبار تجمع الانيونات السالبة الشحنة ضد المحدار التركيز (against concentration gradient) دون الحاجة الى بذل طاقة من قبل النبات الحي .

6.6.5 - فرضية الجهد الكهربائي Electrical potential

من المعروف ان الجدار الخلوي وغشاء البلازما عملاق بشحنة سالبة اي انها يسلكان سلوك غرويات التربة من الطين والذبال . ولقد وجد انه في المحاليل التي يقل تركيز ايونات الهيدروجين فيها عن (10^{-3} غم ايون / لتر) فان الجذور تكتسب شحنة كهربائية سالبة ويكون فرق الجهد الكهربائي سالبا ويزداد فرق

الجهد السالب كلما قلّ تركيز ايونات الهيدروجين عن ذلك وبالعكس فكلما زاد تركيز ايونات الهيدروجين عن ذلك في المحلول الذي حول الجذور كلما أدى الى قلة فرق الجهد الكهربائي السالب وبمعنى آخر قلة الشحنة السالبة (وبزيادة تركيز ايونات الهيدروجين قد يصبح الجذر محملا بشحنة موجبة ويصبح فرق الجهد الكهربائي موجبا). وعلى ذلك فانه اذا وجدت الجذور في محلول معروف درجة تفاعله (الـ pH له) فإننا قد نصادف احدي الحالات الثلاث الآتية :

(1) درجة تركيز الهيدروجين في المحلول تساوي درجة تركيز الهيدروجين على الجدار الخلوي للجذر وفي هذه الحالة يكون فرق الجهد الكهربائي يساوي صفرا أي انه لا يحدث اي امتصاص للايونات حيث تكون الشحنة متعادلة .

(2) درجة تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول اكبر من تركيزها على جدار الخلية وفي هذه الحالة يكون الجذر محملا بشحنة موجبة وفرق الجهد الكهربائي يكون موجبا أيضا وفي هذه الحالة يقوم النبات بامتصاص الانيونات لمعادلة الشحنة الموجبة على الجدار الخلوي .

(3) درجة تركيز ايونات الهيدروجين في المحلول اقل من تركيزها على جدار الخلية وفي هذه الحالة يكون فرق الجهد الكهربائي سالبا اي ان جدار الخلية النباتية يكون محملا بشحنة سالبة وهذه هي الحالة الطبيعية في الجذور الحية وفي هذه الحالة يقوم الجذر بامتصاص الكاتيونات في محلول التربة .

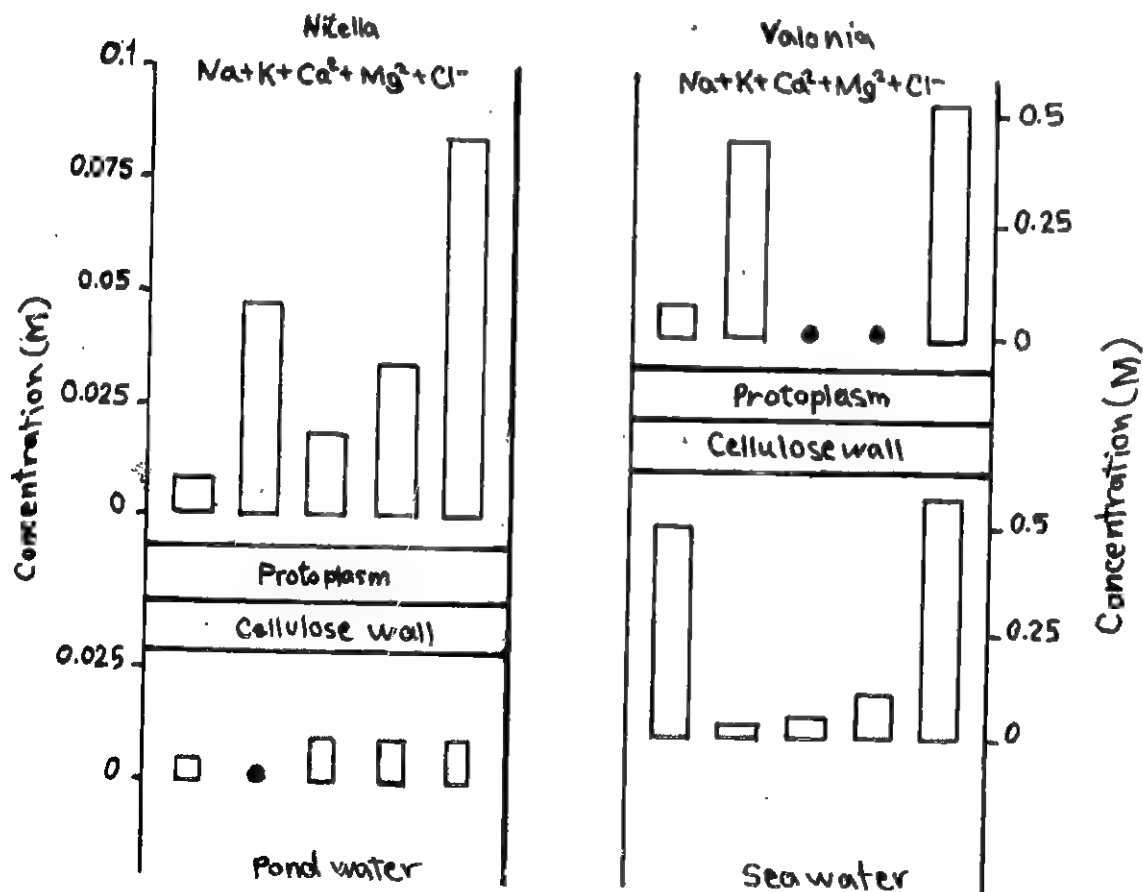
وعلى ذلك فإن قيمة فرق الجهد الكهربائي لخلايا الجذر تؤثر في قدرة النبات في امتصاص الكاتيونات او الانيونات ولذلك يؤخذ مقدار فرق الجهد الكهربائي كمقياس لمدى نشاط خلايا الجذور في عملية الامتصاص ويمكن تفسير ذلك كالآتي :

أ) كلما زادت درجة تركيز أيونات الهيدروجين في محلول التربة . بحيث لا تزيد عن 10^{-3} غم ايون / لتر) كلما زادت الكمية الممتصة من الانيونات وقلت الكمية الممتصة من الكاتيونات .

ب) وبالعكس كلما قلت درجة تركيز ايونات الهيدروجين في محلول التربة كلما زادت كمية الكاتيونات الممتصة قلت في نفس الوقت كمية الانيونات الممتصة .

ففي ترب المناطق الرطبة الحامضية والتي يزداد فيها تركيز ايونات الهيدروجين الناتج من تحلل المادة العضوية الموجودة في تلك الترب يزداد فيها امتصاص الانيونات ويقل فيها امتصاص الكاتيونات بل بالعكس قد يحدث سحب للكاتيونات والمتواجدة اصلا على سطح الجذر (Depletion) وتحرر هذه الكاتيونات الى محلول التربة وبسبب الامطار الغزيرة قد تغسل وبكميات كبيرة من مقد التربة (Profile) الى الاعماق بعيدا عن متناول جذور النبات ولذلك فإن اضافة الجير لهذه الترب ضرورية لرفع درجة تفاعلها من ناحية ولامداد النبات بالكالسيوم من ناحية اخرى .

بالنسبة لظروف العراق وكذلك لترب المناطق الجافة وشبه الجافة فالعكس هو الصحيح حيث يكون فرق الجهد الكهربائي سالبا ويزداد هنا امتصاص الكاتيونات ويقل فيها امتصاص الانيونات ويكون معقد التبادل لغرويات التربة مشبعاً بأيونات عناصر الـ (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} and K^{+}) .



شكل (3-5) تراكيز الايونات في الفجوة العصارية لطحلي *Valonia*, *Nitella* مقارنة بتراكيزها في اوساط النمو

عن : (1948 Hoagland)

7.6.5 - التدفق (الجريان أو الانسياب) الكتلي Mass Flow

يعتقد بعض الباحثين أن الايونات يمكن أن تتحرك خلال الجذور مع حركة تدفق الماء (1960 Russel and Barber). وطبقا لذلك فإن زيادة تيار النتج لابد أن يسبب في امتصاص الايونات. إلا أن تأثير النتج هل هو مباشر أو غير مباشر فلا يزال غير واضح. وهناك اشارات واضحة على أن امتصاص عنصر الكالسيوم يكون فقط عن طريق التدفق الكتلي مع تيار النتج وأن أية عاقبة لعملية النتج كزيادة الرطوبة النسبية للهواء المحيط بالنبات فإنه يسبب ظهور اعراض نقص الكالسيوم على النبات بالرغم من وجوده بكميات جاهزة وكافية للنبات (1982 Mengel and Kirkby). كما أن هناك اعتقاد بأن التدفق الكتلي للايونات مع تيار النتج يلعب دورا مهما في امتصاص عنصري البورون والمولبدنم.

7.5 - الامتصاص النشط (الفعال) Active absorption

1.7.5 فكرة عامة

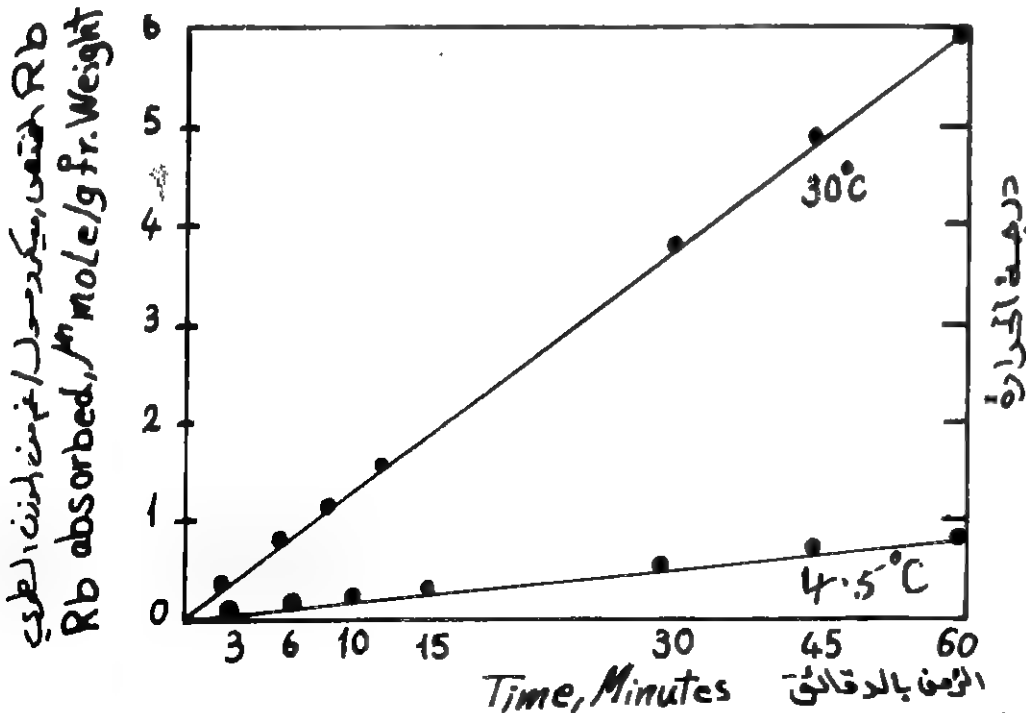
من التجارب التي قام بها (1948 Hoagland) ومساعدوه التي اجريت على طحلي (Nitella) الموجود في الماء العذب (Pond Water) وال (Valonia) الموجود في ماء البحر (Sea water) قد بينت على أن تراكيز الايونات في فجوة خلية هذين الطحليين وتراكيزها في وسط النمو لم يكن متساويا بل لاحظ أن تراكيز الـ (Cl^- , K^+) في داخل الفجوة يصل الى مئات المرات عن تركيزها في وسط النمو بالنسبة للطحلب (Nitella) في حين وجد أن تركيز Na^+ في الفجوة العصارية لطحلب الـ Valonia هو اقل بكثير عن تركيزه في ماء البحر وهذا يدل على أنه حدث تجمع (Accumulation) لأيوني البوتاسيوم والكلوريد في فجوة طحلب النيتيلا في حين لم يحدث تجمع للصوديوم في طحلب الفالونيا وهذا يبين بوضوح أن امتصاص هذه الايونات لم يتم بواسطة الانتشار (diffusion) لأنه لو كان كذلك لتساوى تركيز هذه الايونات في داخل وخارج الطحليين طبقا لمفهوم الانتشار والتي تنص على انتقال الجزيئات وايونات العناصر المعدنية من التركيز العالي الى التركيز المنخفض الى أن يتساوى التركيز لها في خارج وداخل النبات. ولكنه حصل اختلاف كبير في تركيزها كما يتضح ذلك من الشكل (3-5).

كما تبين لنا هذه التجربة أن الطحليين كان لها القدرة الاختيارية (Selectivity) في التمييز بين الايونات التي تمتصها حيث أن طحلب النيتيلا قام بتجميع البوتاسيوم بكمية كبيرة تفوق كثيرا تجمع الصوديوم علما أن تركيز الصوديوم في وسط النمو كان اعلى من تركيز البوتاسيوم. وعلى العكس من ذلك فبالرغم من

أن تركيز الصوديوم في ماء البحر كان كبيرا جدا مقارنة بتركيز البوتاسيوم الآ أن طحلب الفالونيا قام أيضا بتجميع البوتاسيوم بعشرات المرات مقارنة بتركيز الصوديوم في داخل فجوته . وهذا يدل على أن تجمع الايونات قد حصل ضد المحدار التركيز (Against concentration gradient) . وهذا كله يوضح لنا ان عملية الامتصاص تحتاج الى طاقة يقوم النبات الحي ببذلها لاجل تحقيق هذه الغاية والتي بلاشك يحصل عليها من فعالياتته الحيوية ..

ومن الامور الاخرى والمهمة والتي تؤيد وجود نوع اخر من الامتصاص علاوة على الامتصاص السلبي او الحر هو قيام النبات بامتصاص الايونات السالبة الشحنة والتي تشابه شحنة الجدار الخلوي وغشاء البلازما والمفروض ان يحدث للانيونات تنافر ولا يحدث لها امتصاص ولكن الواقع ان النبات يقوم بامتصاص الانيونات السالبة الشحنة مثل امتصاصه للفوسفات $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} والكبريتات SO_4^{2-} والنترات NO_3^- الخ . ولاشك ان هذا يتطلب ضرورة بذل طاقة من قبل النبات الحي لامتصاص هذه الانيونات .

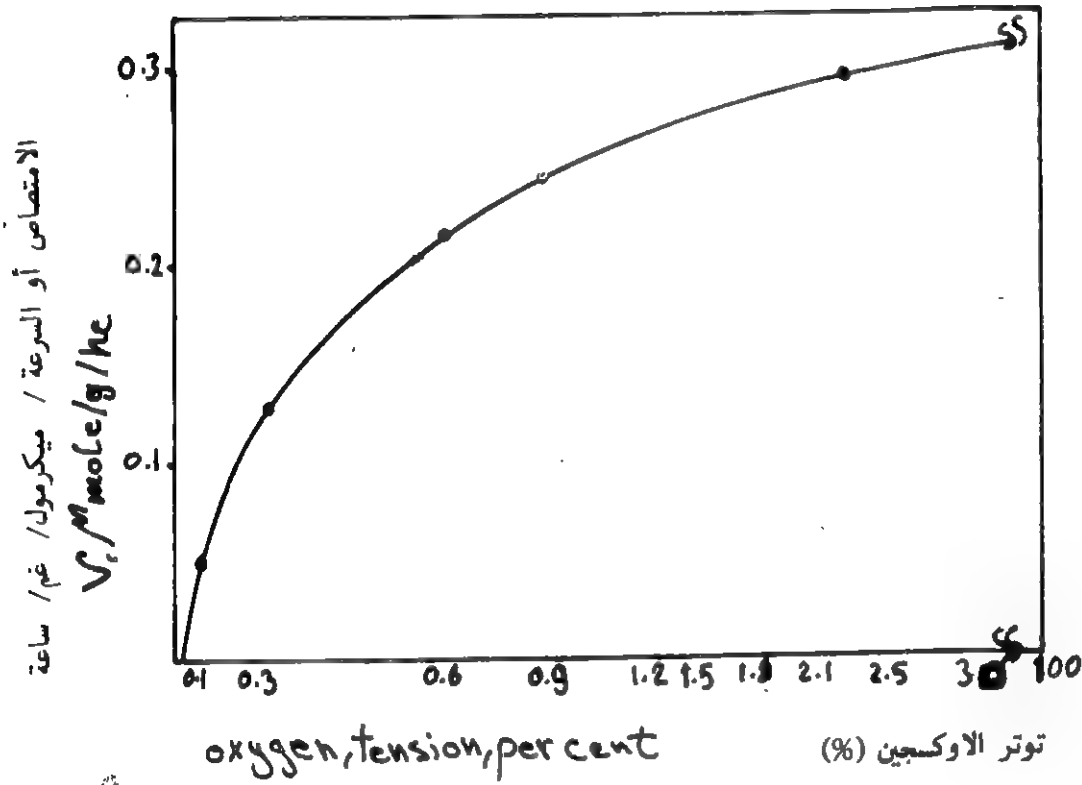
2.7.5 - الدلائل الاخرى التي تؤيد عملية الامتصاص النشط (الفعال)
بالاضافة الى عملية تجمع الايونات والى امتصاص الانيونات السالبة الشحنة فهناك ادلة اخرى تشير الى وجود عملية الامتصاص الفعال . فقد وجد ان :
أ - زيادة عملية الامتصاص بارتفاع درجة الحرارة الى حد مناسب والحرارة هي نوع من انواع الطاقة كما يتضح ذلك من الشكل (4-5) .



شكل (4-5) توضيح امتصاص الـ Rb بواسطة جذور الشعير كدالة لتأثير الزمن ودرجة الحرارة . تركيز الـ RbCl كان 0.1mM
عن : (Epstein et al, 1962)

ب - الاوكسجين

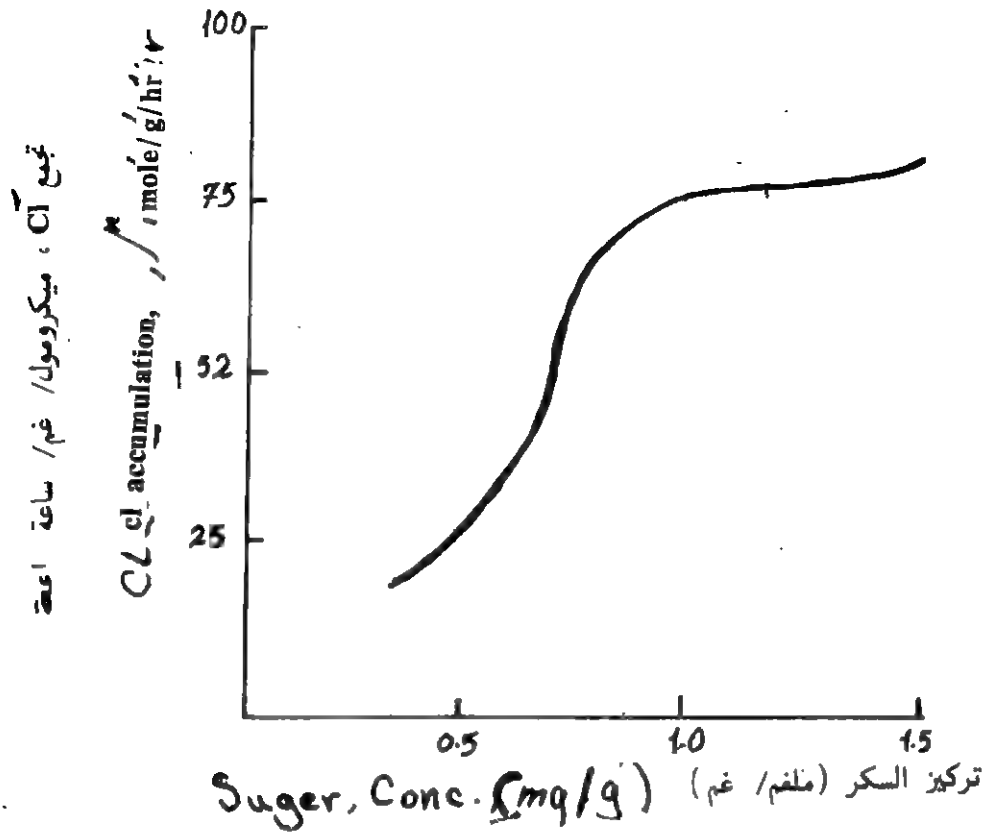
لقد وجدت زيادة في امتصاص ايونات العناصر الغذائية بزيادة النسبة المئوية للجهد الاوكسجيني كما يتضح ذلك من الشكل (5-5).



شكل (5-5) يبين سرعة امتصاص الفوسفات بواسطة جذور الشعير المقطوعة كدالة للنسبة المئوية للجهد الاوكسجيني عن: (Hopkins, 1956)

ج - الكربوهيدرات:

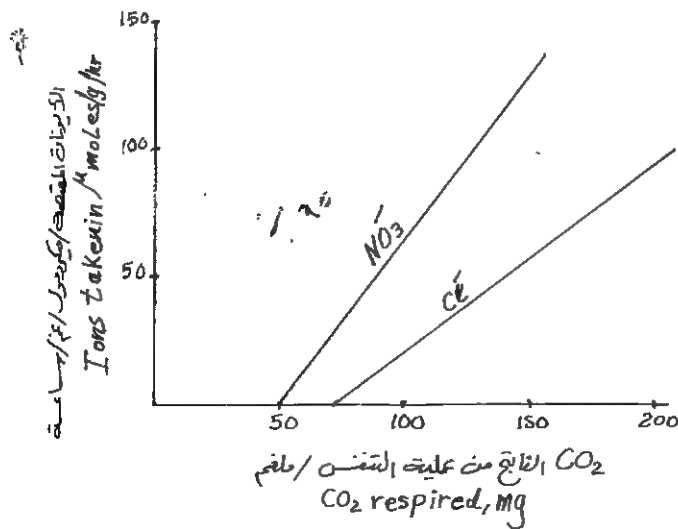
لقد وجدت زيادة في عملية الامتصاص بزيادة محتوى النسيج النباتي من السكريات كما في الشكل (5-6).



شكل (5-6) تأثير مستوى السكر في النسيج النباتي على امتصاص الكلوريد بواسطة جذور الشعير . مأخوذ من (Epstein, 1972)

د - التنفس :

لقد وجد أن زيادة معدل التنفس أي زيادة خروج CO_2 أدت إلى زيادة عملية امتصاص الأيونات كما يتضح من الشكل (5-7) .



شكل (5-7) يبين العلاقة بين تنفس النسيج وامتصاص الـ NO_3^- ، Cl^- بواسطة جذور الحنطة عن : (Lundegardh and Burstrom 1933) .

هـ - المواد المثبطة

لقد وجد ان هناك علاقة بين امتصاص الايونات واستخدام المواد السامة او المثبطة فعند اضافة مادة ثنائي الميثايل Dimethyle الى محلول مغذي من كلوريد البوتاسيوم انخفض معدل امتصاص البوتاسيوم بمقدار 90% ومعدل امتصاص الكلوريد (الانيون المرافق) بمقدار 60% واستهلاك الاوكسجين قد انخفض بمعدل 60% ايضا وهذا يدل على ارتباط عملية الامتصاص للايونات بالنشاط الحيوي للنبات والا بماذا يفسر انخفاض استهلاك الاوكسجين بحوالي 60% وكذلك لو ان امتصاص الايونات غير مرتبط بالنشاط الحيوي للنبات لامتص النبات كلا من البوتاسيوم والكلوريد بكميات متساوية .

و - الضوء

وجد ان امتصاص الايونات تزداد بزيادة شدة الضوء وهذا دليل اخر على ارتباط عملية الامتصاص الحيوي بالطاقة الناتجة من عملية التركيب الضوئي حيث أن أحد وظائف عملية التركيب الضوئي هو تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية في صورة الـ (ATP) والـ $NADPH_2$ نتيجة التفاعل المعروف بتفاعل Hill (Hill-Reaction) ولوحظ ان النباتات في الضوء تمتص الايونات اسرع من النباتات النامية في الظل .

8.5 - الطاقة وعلاقتها بالامتصاص الحيوي للايونات المعدنية :

لقد اوضحنا سابقا ان الاغشية تمثل حاجزا وعائقا لانتشار الايونات كما اننا اشرنا الى تجمع الايونات في المحلول الداخلي للنبات وبتراكيز قد تصل الى مئات بل آلاف المرات او اكثر من تركيزها في محلول التربة الخارجي .

ولاجل امتصاص هذه الايونات ضد التدرج التركيز وحفظ هذه التراكيز العالية من الايونات داخل الخلية لابد من صرف طاقة حيوية وان كمية هذه الطاقة يمكن حسابها بصورة تقريبية من المعادلة التالية :

$$\Delta G = RT \ln \frac{C_2}{C_1}$$

حيث ان :

ΔG هي التغير في الطاقة الحرة Free energy اللازمة لضخ الايونات في الخلية بوحدة كالوري / مول (Cal/mole).

R ، هي ثابت الغازات Gas constant ويساوي Calories/mole/degree 1.987

T ، هي درجة الحرارة المطلقة (درجة حرارة التفاعل المثوية + 273)

\ln ، هو اللوغاريتم الطبيعي ويساوي $2.3 \log 10$

C_1 و C_2 تركيز الايونات خارج وداخل الخلية على التوالي بوحدة mmole/cm³
فلو نرض أن نسبة تركيز الايونات بين داخل وخارج الخلية هي $\frac{10000}{1}$ ودرجة الحرارة هي 20° م فتكون كمية الطاقة المبذولة من قبل النبات هي : -

$$\Delta G = (1.987) (293) (2.3) \log \frac{10000}{1}$$

$$= (1.987) (293) (2.3) (4)$$

$$= 5395 \text{ cal./mole}$$

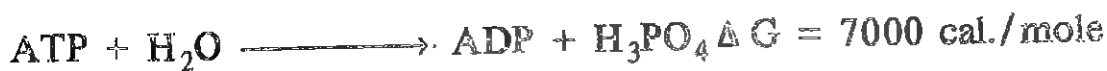
والسؤال الذي يتبادر الى الذهن هو ما هو مصدر هذه الطاقة ، وبأي شكل كيميائي توجد هذه الطاقة ، واخيرا كيف تؤثر هذه الطاقة في حركة الايونات عبر الأغشية الخلوية ؟

إن مصدر الطاقة في حالة النباتات الخضراء هي :

أ - عملية التركيب الضوئي Photosynthesis

حيث يتم في هذه العملية تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية في صورة الـ Adenosine triphosphate (ATP) وكذلك في صورة الـ NADPH₂ (Nicotine amide adenine dinucleotidephosphate)

إن التغير في الطاقة الحرة ΔG عندما تنكسر آصرة غنية واحدة من الـ ATP تقدر بحوالي [(10000-7000) cal./mole]

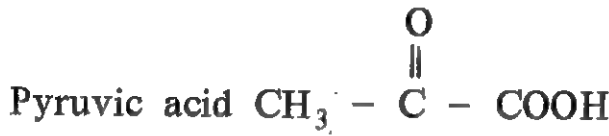


اما الطاقة المخزونة في الـ NADPH₂ فتقدر بحوالي (52000 cal./mole). وهذه الطاقة سواء في الـ ATP او الـ NADPH₂ تستغل لنقل الايونات وحفظها في الخلية .

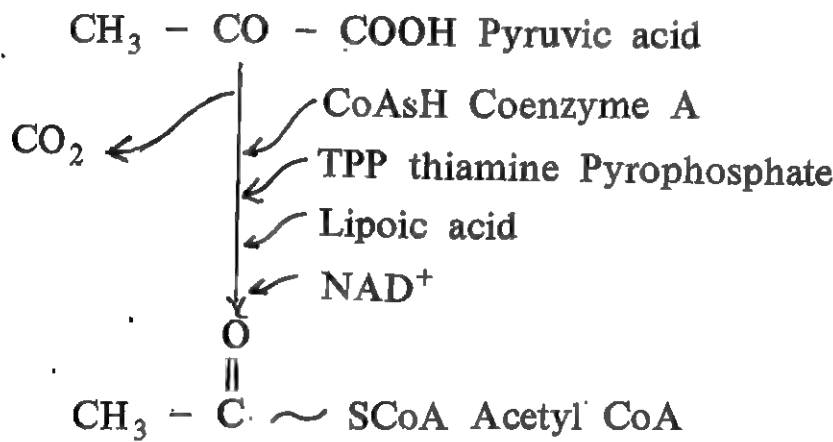
إن عملية تكون الطاقة بواسطة عملية التركيب الضوئي يطلق عليها عملية
الفسفرة الضوئية . Photophosphorylation .
(Arnon, Whatley, and Allen, 1954, Arnon, 1959)

ب - التنفس Respiration

وهي عملية هدم الكربوهيدرات وحصول النبات على الطاقة اللازمة له سواء
كان ذلك تحت الظروف اللاهوائية أي في غياب الاوكسجين بعملية التخمر
Glycolysis والتي تنتهي بتكون حامض البيروفيك



التي تحدث في السيتوبلازم .
أو قد ينتقل حامض البيروفيك الى المايتركوندريا والذي يتحول الى
Acetyl CoA بفقدان CO_2 كالآتي :



بعد ذلك يتفاعل Acetyl CoA مع حامض الـ Oxaloacetic acid ليكون
حامض الستريك Citric acid والذي يعتبر أول حامض يتكون في دورة كريبس
Krebs cycle نسبة الى مكتشفها Krebs كما تسمى بدورة ثلاثي حامض
الكربوكسيل Tricarboxylic acid cycle (TCA) أو دورة حامض الستريك
والطاقة الناتجة من عملية التنفس تحدث بعملية الفسفرة التأكسدية
Oxidative phosphorylation

ويمكن تلخيص هذه العملية بالمعادلة الآتية :



وما تجدر الإشارة اليه أن 90% من الـ ATP المتكون بداخل جذر النبات يتم في الماييتوكوندرريا وبعبارة أخرى فإن عملية الفسفرة التأكسدية نتيجة عملية التنفس هي المسؤولة عن انتاج 90% من الطاقة في صورة الـ ATP بداخل النبات وأن 10% فقط تكون ناتجة من عملية الفسفرة الضوئية نتيجة عملية التركيب الضوئي (Mengel, 1968).

أما بالنسبة للنباتات غير الخضراء فإن انتاج أغلب الطاقة في صورة الـ ATP يتم عن طريق الفسفرة التأكسدية نتيجة عملية التنفس في الماييتوكوندرريا.

9.5 - الآراء والفرضيات والنظريات المتعلقة بالامتصاص الحيوي (النشط)

في تناول الآراء والفرضيات والنظريات المرتبطة بعملية الامتصاص الحيوي أو الفعال أو النشط Active absorption لأيونات العناصر الغذائية المعدنية حسب ظهورها وتسلسلها التاريخي لتسهيل فهمها والتعامل المنطقي معها، وتذليل بعض الصعوبات التي تتعلق في معرفة ماهية الامتصاص الحيوي وانتقال المغذيات النباتية من محلول التربة أو الوسط الخارجي وحتى تصل الى المحلول الداخلي للنبات والتي هي الساييتوبلازم والفجوة العصارية.

1.9.5 - فرضية التنفس الملحي او الانبوني

Salt Respiration or Anion Respiration Hypothesis

اول من حاول ربط عملية امتصاص الأيونات من محلول التربة ونقلها الى داخل النبات هو العالم السويدي Lundegardh عام (1954) حيث لاحظ هذا الباحث زيادة معدل التنفس العام Ground Respiration عند اضافة الملح للماء ووجد ان معدل الزيادة في التنفس تتناسب مع كمية الانيونات السالبة الشحنة الممتصة.

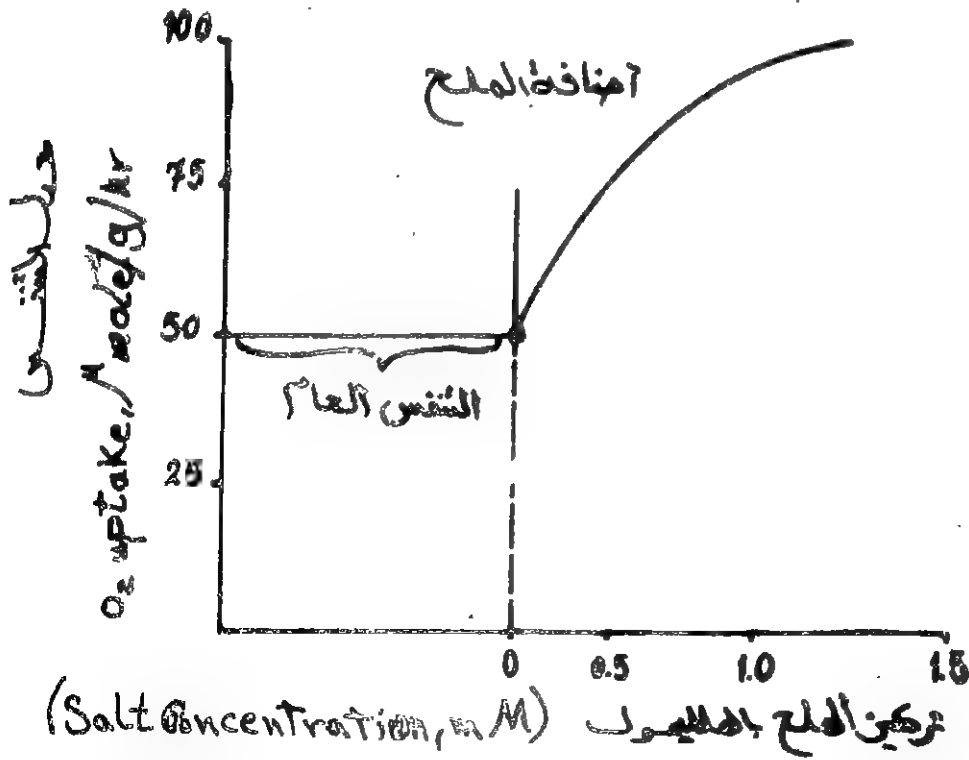
ان اساس فرضية لونديكارد هي النقاط الاربع التالية :

(1) ان امتصاص الكاتيونات وامتصاص الانيونات هما عمليتان منفصلتان عن بعضهما ويتم امتصاص كل- منها تحت ظروف خاصة .

(2) امتصاص الكاتيونات هي عملية تعاكسية وتم بواسطة عملية الانتشار اي انها تتم بطريقة حرة بواسطة عملية الامتصاص السلبي Passive sbsorption

(3) امتصاص الانيونات عملية غير تماكسية اي في اتجاه واحد من محلول التربة الى داخل الفجوة المصارية وخروج الانيونات من الفجوة المصارية الى محلول التربة غير ممكن وانها مرتبطة ببذل طاقة من قبل النبات يحصل عليها نتيجة الزيادة في عملية التنفس العام . وهذه الطاقة يحتاج اليها النبات لكي يقاوم الشحنة السالبة للجدار الخلوي وغشاء البلازما وكذلك لانتقال الانيونات ضد المحدار التركيز ولذلك اطلق عليه أسم التنفس الملحي او الانبوني وافترض لونديكارد ان الانيون يلزمه حامل تحمله من وقت دخوله غشا البلازما عبر الساييتوبلازم وحتى يصل الى الفجوة المصارية يمتزج غشا التونوبلاست وان هذا الحامل هو الساييتوكروم الحاوي الحديد في تركيبه .

(4) يختلف التنفس الملحي او الانبوني عن التنفس العام . ويمكن اثبات وجود التنفس الملحي بقياس تنفس النبات اثناء عملية امتصاص الماء والكاتيونات فلو لاحظ ان تنفس النبات يظل ثابتا اما عند امتصاص النبات للانيونات فيلاحظ وجود زيادة في معدل التنفس العام اي زيادة خروج غاز O_2 ومقدار هذه الزيادة من CO_2 هي عبارة عن التنفس الملحي او الانبوني كما يتضح ذلك من الشكل (5-8) .

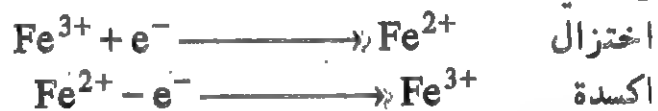


شكل (5-8). يبين التنفس الملحي اي ارتفاع معدل التنفس العام نتيجة اضافة الملح .
من : (كاظم ، عبد العظيم 1977)

وعندما وضع لوندريكارد حامض السيانيـد HCN في وسط نمو جذور النبات اثناء امتصاص الانيونات لاحظ انخفاض امتصاص الانيونات وكذلك منع تجمعها داخل المصاراة الخلوية في حين اثر حامض السيانيـد قليلا على معدل التنفس العام اي انه اوقف التنفس الملحي او الانيونى كثيرا وحيث ان حامض السيانيـد يثبط عمل مادة السايـتوكروم فهذا دليل على ان مادة السايـتوكروم ذات علاقة بعملية امتصاص الانيونات والتنفس معا وحيث ان التنفس يرتبط بانتاج الطاقة فهذا يدل ان هناك علاقة وثيقة بين السايـتوكروم وامتصاص الانيونات .

ميكانيكية عملية التنفس الملحي أو الانيونى (امتصاص الانيونات)
يمكن تلخيص رأى لوندريكارد في امتصاص الانيونات كالآتي :

العنصر الفعال في مادة السايـتوكروم هو ذرة الحديد التي يتغير تكافؤها اثناء عمليتي الاكسدة والاختزال وذلك بفقدانها او اكتسابها للالكترونات على التوالي وكالآتي :



ويتضح من ذلك ان مادة السايـتوكروم هي المادة الحاملة أو الناقلة (Carrier) للالكترونات . وعندما يكون الحديد في تركيب السايـتوكروم ثلاثي التكافؤ Fe^{3+} فانه يكون مستعدا لاستقبال الكترون او اي انيون سالب الشحنة وبالتالي يصبح الحديد بعد اخذ الالكترون أو الانيون في صورة مختزلة اي في صورة الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{2+} . كما يمكن للحديد الثنائي التكافؤ ان يفقد الالكترون أو الانيون ويصبح في حالة مؤكسدة اي في صورة الحديد الثلاثي التكافؤ Fe^{3+} من جديد وهكذا بتوالي عمليات الاكسدة والاختزال لذرات الحديد الداخلة في تكوين السايـتوكروم يمكن انتقال وامتصاص الانيونات من محلول التربة عبر غشاء البلازما فالسايـتوبلازم فغشاء الفجوة ومنه الى الفجوة العصارية مقترحا ان حبيبات السايـتوكروم تترتب داخل السايـتوبلازم على شكل سلسلة او قنطرة (Bridge) يكون اولها او بدايتها عند غشاء الاندوبلاست الداخلي (غشاء الفجوة) الملاصق للفجوة العصارية ونهايتها عند الغشاء الخارجى الملاصق للجذر الخلوي (غشاء البلازما) .

ولقد شرح لوندريكارد كيفية امتصاص الانيونات كالآتي :

- 1) مصدر الالكترونات هو الهيدروجين الناتج من تأين او انحلال الاحماض العضوية الموجودة بالقرب من غشاء التونوبلاست بتأثير انزيم Dehydrogenase على هذه الاحماض .

(2) تفقد ذرة الهيدروجين (H-atom) الكتروناً فتتحول الى ايون الهيدروجين H^+ .

(3) بتوالي تكوين ايونات الهيدروجين وزيادة تركيزها بجوار غشاء التونوبلاست الملاصق للفجوة العصارية ينشأ تيار مستمر من ايونات الهيدروجين يتحرك من الداخل باتجاه غشاء البلازما الخارجي الملاصق للجدار الخلوي (اي مر حيث التركيز العالي للهيدروجين الى التركيز المنخفض له).

(4) ينشأ تيار آخر من الالكترونات اتجاهه هو نفس اتجاه حركة ايونات الهيدروجين اي من غشاء الفجوة الى غشاء البلازما.

(5) تدخل الالكترونات أثناء تحركها في نظام التنفس الانزيمي وهو انز الساييتوكروم اوكسيداز Cytochrome oxidase.

(6) يشجع الالكترون الخارج من ذرة الهيدروجين الى حبيبة الساييتوكروم المجاورة لجدار الفجوة العصارية (التونوبلاست) وعندما تكتسب ذر الحديد هذا الالكترون يتحول الحديد الثلاثي التكافؤ الى الحديد الثنائي التكافؤ. $Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$

(7) عندما تفقد حبيبة الساييتوكروم الالكترون يتحول الحديد الثنائي التكافؤ الى الحديد الثلاثي التكافؤ $Fe^{2+} - e^- \longrightarrow Fe^{3+}$

وينتقل الالكترون الى ذرة الحديد المجاورة. وهكذا ينتقل الالكترون من ذرة حديد الى ذرة حديد اخرى حتى يصل الالكترون في النهاية الى حبيبة الساييتوكروم في نهاية السلسلة والقريبة من غشاء البلازما الملاصق للجدار الخلوي وعندما يصل الالكترون الى حبيبة الساييتوكروم الواقعة نهاية السلسلة يصبح الحديد في الصورة المختزلة أي الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{2+} .

(8) تفقد ذرة الحديد الاخيرة في حبيبة الساييتوكروم هذا الالكترون فيتحرر الحديد الثنائي التكافؤ الى الحديد الثلاثي التكافؤ $Fe^{2+} - e^- \longrightarrow Fe^{3+}$ والذي يكون في هذه الحالة مستعداً مؤهلاً الى:

أ - استقبال الكترون آخر من الداخل أو

ب - استقبال انيون (لعنصر ما وليكن الـ NO_3^- مثلاً من محلول التر الخارجي).

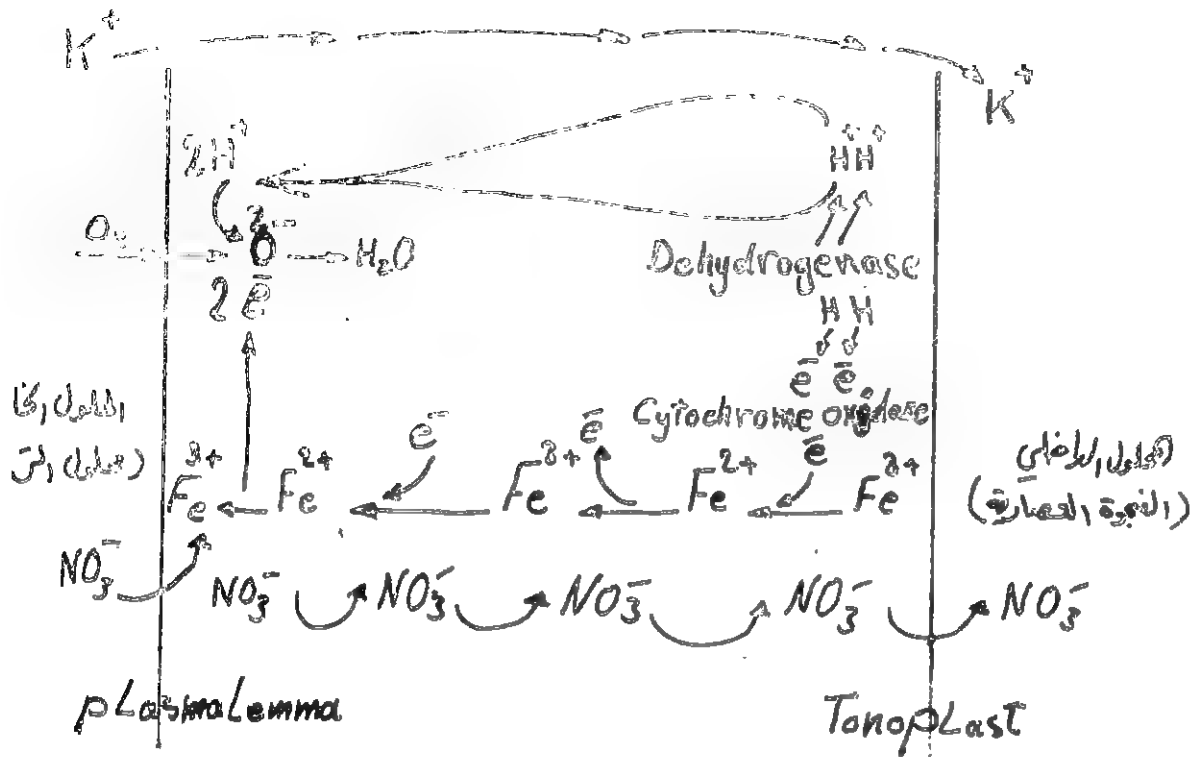
(9) يتجه الالكترون الذي يهجر حبيبة الساييتوكروم الاخيرة ناحية الاوكسجين الداخل للخلية للتنفس ويلزم الكترونان لكي تتحول ذرة الاوكسجين الى ايون الاوكسجين ثنائي الشحنة O^{2-} والذي يتحد مباشرة بأيونين من الهيدروجين لتكوين جزيء من الماء .

(10) تتناول حبيبة الساييتوكروم الاخيرة والتي عليها حديد ثلاثي التكافؤ والمجاورة لغشاء البلازما المجاور لجدار الخلية انيون النترات (NO_3^-) بعد أن ينفذ هذا الانيون خلال الجدار الخلوي وغشاء البلازما ثم تعطي هذه الحبيبة الانيون الذي تحمله الى ذرة الحديد التي تليها والثلاثية التكافؤ الى جهة الداخل وهكذا يستمر انتقال انيون النترات من ذرة حديد الى ذرة حديد اخرى حتى يصل انيون النترات الى آخر ذرة حديد مجاورة لغشاء الفجوة .

(11) وهكذا ينشأ تيار من الانيونات اتجاهه من خارج الخلية اي من غشاء البلازما الى الداخل باتجاه غشاء الفجوة وعلى العكس من ذلك ينشأ تيار من الالكترونات وكذلك تيار من ايونات الهيدروجين من داخل الخلية الى الجدار الخارجي وبهذه الكيفية يتم انتقال الانيونات من محلول التربة الخارجي الى داخل الفجوة العصارية .

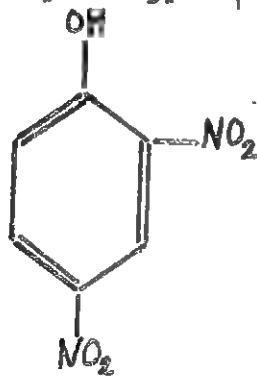
(12) ولكي يتم دخول الانيون الى داخل الفجوة العصارية بعد انتقاله على طول سلسلة حبيبات الساييتوكروم يجب أن يلاقي هذا الانيون كاتيون داخل الفجوة العصارية لكي تتم عملية التعادل الكهربائي وقد يكون العنصر الموجود في الفجوة العصارية والذي يستقبل الانيون اما كاتيون لعنصر غذائي آخر غير الهيدروجين او قد يكون الهيدروجين نفسه . ولنفترض ان الكاتيون هنا هو البوتاسيوم والذي يتم امتصاصه كما سبق بعملية الامتصاص الحر بواسطة عملية الانتشار .

كما يتضح ذلك من الشكل (5-9) .



شكل (5-9) توضيح فكرة امتصاص الأنيونات (التنفس الأنيوني) أو التنفس الملحي
عن : (Lundegardh, 1954)

آراء العلماء حول مكانة نظرية لونديكارد :
على الرغم من أن نظرية التنفس الملحي أو الأنيوني تساعد على تطور أشتراك الطاقة الأيضية في امتصاص أيونات العناصر المعدنية إلا أن عددا من الباحثين لا يرى ذلك ممكنا من الناحية العلمية فقد وجد كل من (Robertson, Wilkins, 1951, and Weeks) أن استخدام مادة 4-Dinitrophenol (DNP) المثبطة للفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) قد قللت أو أوقفت عملية امتصاص الأنيونات في نفس الوقت الذي لم يكن لها أي تأثير على تيارات الإلكترونات كما أنها أدت إلى زيادة عملية التنفس ، وهذا يدل على أهمية الطاقة في صورة الـ ATP في أي تراكم للأنيونات في المحلول الداخلي للنبات :



2,4-Dinitrophenol

والاقتراح الاصلي الذي يرنأى بأن الانيونات قادرة على تحفيز التنفس قد قوبل بأنتقادات شديدة من الباحثين . على سبيل المثال (Handley and Overstreet, 1955) وجدوا ان كلا من أيونات البوتاسيوم والصوديوم وهي كاتيونات تحفز كذلك التنفس وليس فقط الانيونات . حسب رأي لوندنيكارد . وأخيراً لو ان هناك حامل واحد لجميع الانيونات فإن التنافس على مواقع الارتباط بين الانيونات لابد ان يكون ظاهراً غير أنه قد تبين أن ايونات الكبريتات والنترات والفوسفات لا تظهر مثل هذا التنافس أثناء امتصاصها وتواجدتها في نفس وسط نمو النبات .

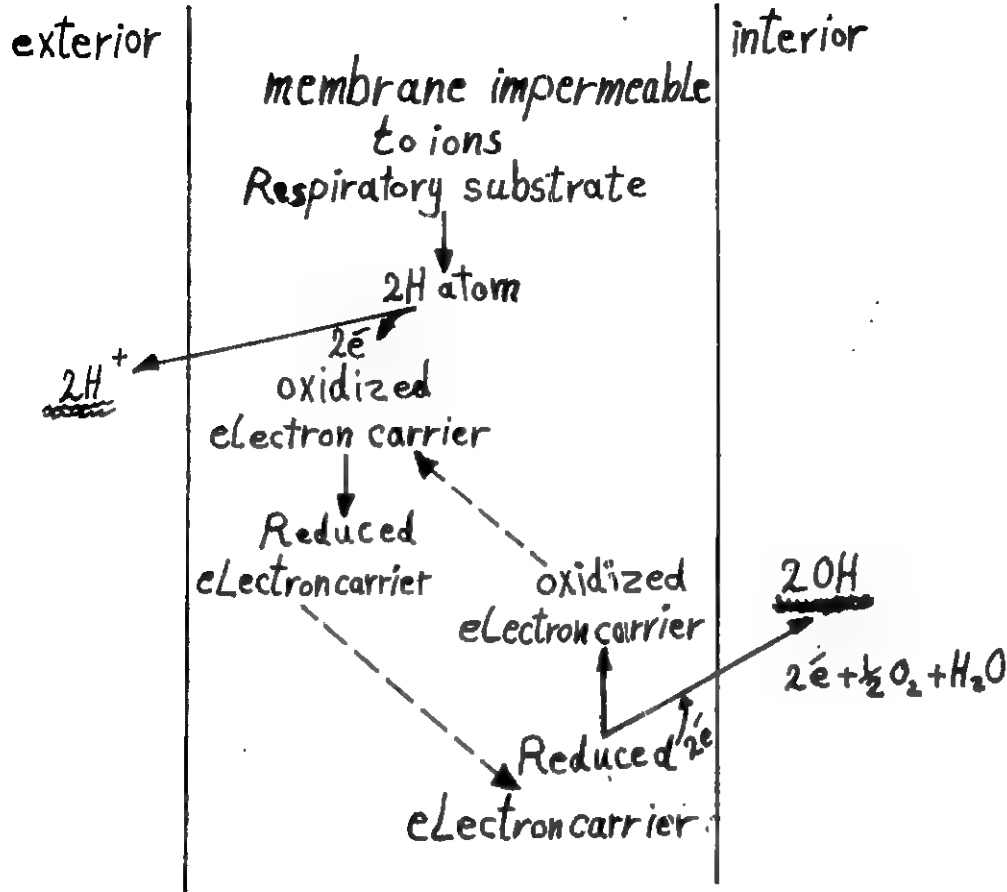
والاعتراض الاخر على مادة الساييتوكروم بأنها غير متواجدة في الساييتوبلازم وانها ترتبط بحمض بصفه أساسية بالتراكيب الخشائية الداخلية للجسيمات الخلوية مثل البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا .

2.9.5 فرضية فصل (أنفصال) الشحنات

إقترح روبرتسون 1968 حدوث انفصال للشحنات حيث تتحرك أيونات الهيدروجين الى الخارج باتجاه الغشاء الخارجي للميتوكوندريا في حين تنتقل الالكترونات بواسطة حامل الالكترونات باتجاه الغشاء الداخلي للميتوكوندريا . وأعترض روبرتسون على الفكرة التي طرحت من قبل لوندنيكارد من ان الساييتوكروم عبارة عن سلسلة من ذرات الحديد تكون بدايتها بالقرب من غشاء التونوبلاست ونهايتها بالقرب من غشاء البلازما واقترح ان مادة الساييتوكروم تكون في حركة مستمرة حيث تكون نواة الحديد في مادة الساييتوكروم على صورة الحديد الثنائي التكافؤ ويحدث لها أكسدة أثناء تحركها وذلك بفقدانها للالكترون . واقترح روبرتسون بأن أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل قد تتحرك الى أجزاء الخلية بواسطة شبكة منتشرة في الخلية وربما بواسطة حويصلات (Vesicles) تتكون من الشبكة الاندوبلازمية .

أن فصل أيونات الهيدروجين والالكترونات شكل (5-10) والتي تسبب في تكوين مجاميع الهيدروكسيل تسبب حركة الايونات من محلول التربة الخارجي حيث تستبدل انكاتيونات مع أيونات الهيدروجين والانيونات مع أيونات الهيدروكسيل . حسب اعتقاده فإن الطاقة تصرف لأجل تلافي ايونات الهيدروجين وايونات الهيدروكسيل وتكوين الماء ويرى روبرتسون ان نقل الايونات بسبب فصل الشحنات يعتبر بديلاً لاشتراك الـ ATP في عملية امتصاص الأيونات .

وبالرغم من ذلك فإن كلا من لوندنيكارد وروبرتسون قد وجها الانظار والانتباه الى أهمية الـ ATP المتكون بعملية التنفس أو بواسطة عملية التركيب العضوي في امتصاص ايونات العناصر الغذائية من وسط نمو النبات والى الدور المهم الذي قد تلعبه كل من البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا في هذه العملية الخاصة بالانتقال الحيوي .



شكل (5-10) توضيح فكرة فصل الشحنات charge separation اي فصل أيونات الهيدروجين عن الإلكترونات وتكوين أيونات الهيدروكسيل .
عن : (Robertson, 1968) .

الفروقات بين فرضية لونديكارد وفرضية روبرتسون

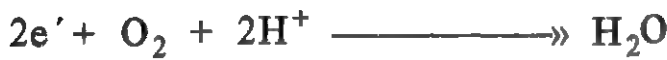
(1) فرضية لونديكارد (التنفس الملحي او الانايوني) تحدث في السايئوبلازم أما فرضية فصل الشحنات أي فصل أيونات الهيدروجين للخارج وأيونات الهيدروكسيل للداخل فأتها تم في المايئوكوندريا والكلوروبلاست .

(2) المادة الحاملة أو الناقلة للألكترونات والانيونات طبقا لفرضية لونديكارد هي السايئوكروم والتي حسب أعتقاده تتواجد على شكل سلسلة بدايتها بجوار الفجوة العصارية في الداخل ونهايتها في الخارج بالقرب من غشاء البلازما الملاصق للجدار الخلوي أما حسب رأي روبرتسون بأن المادة الناقلة غير معروفة وهي فقط تستخدم لنقل الإلكترونات فقط .

(3) تيار الالكترونات وآيونات الهيدروجين تتحرك في اتجاه واحد من الداخل أي من الفجوة العصارية الى الخارج باتجاه غشاء البلازما أما الانيونات فتتحرك باتجاه معاكس أي من غشاء البلازما باتجاه غشاء الفجوة الملاصق للفجوة العصارية حسب رأي لوندريكارد . أما طبقا لفرضية روبرتسون فان آيونات الهيدروجين تتحرك باتجاه الغشاء الخارجي للمايتوكوندرية والالكترونات تتجه الى الغشاء الداخلي للمايتوكوندرية ومكونة مجموعتين من آيونات الهيدروكسيل بالتحاد الكتروني مع نصف جزيئة من الاوكسجين وجزيء واحد من الماء كالآتي : -



(4) حسب رأي لوندريكارد يتكون جزيئي واحد من الماء وذلك بأشتراك الكترونين في اختزال جزيئي واحد من الاوكسجين واللذان يتحدان مع جزيئين من الهيدروجين كالآتي : -



أما طبقا لروبرتسون فيلزم أربعة الكترونات لأختزال جزيئي واحد من الاوكسجين والتي تتحد مع أربعة آيونات من الهيدروجين لتكوين جزيئين من الماء كالآتي : -



٢

(5) حسب رأي لوندريكارد يتم دخول الكاتيونات بطريقة سلبية لمعادلة الانيونات الممتصة نتيجة التنفس الانيوبي أما حسب رأي روبرتسون فان كلا من الكاتيونات والانيونات تتم بطريقة الامتصاص السلي او الحر بتبادل الكاتيونات مع آيونات الهيدروجين وبتبادل الانيونات مع مجاميع الهيدروكسيل . ولم يبين أي منها كيفية اشتراك مركب الطاقة الـ ATP في عملية امتصاص الايونات .

3.9.5 = الفرضية المتعلقة بتكوين الـ ATP

بالرغم من ان الامتصاص الأيوني وارتباطه مع التنفس معروف منذ عشرين
السنين (1932 Lundegardh) والدراسة القيمة التي أجراها (Loagland)
(1948) على طحلي الـ (Valonia, Nitella) والتي من نتائجها المهمة أوضحت
حقيقة كون عملية الامتصاص لابد ان تكون مرتبطة ببذل طاقة من قبل النبات
الا ان العلاقة بين الفعاليات الحيوية والامتصاص لا تزال غير مفهومة بصورة
كاملة لحد الآن . ولكن التجارب التي قام بها Robertson سنة 1955 وجماعة
والتي اضيف فيها الى وسط نمو النبات مادة (2,4-Dinitrophenol) والتي تثبط
عملية الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) لوحظ قلة امتصاص
الانيونات بالرغم من زيادة عملية التنفس . اما التجربة التي قام بها (Bledsoe
et al., 1969) في دراستهم على امتصاص الفوسفات المشعة من قبل جذور نبات
الذرة الصفراء (Zea mays) المتمثلة بإضافة المادة المثبطة لعملية الفسفرة وهم
مادة الـ (Oligomycin) وعند مقارنتهم للـ ATP المتكون وعلاقة ذلك بامتصاص
الفوسفات خلال فترة اربع دقائق في غياب وجود الـ Oligomycin أوضحت ان
Oligomycin قد خفض تكوين الـ ATP الى الثلث دون ان يكون لذلك أي
تأثير على امتصاص الفوسفات ولكن عند وضع مادة الـ Oligomycin لفترة طويلة
لوحظ توقف تكوين الـ ATP تماما وادى ذلك الى وقف امتصاص الفوسفات وقد
فسروا نتائجهم على النحو الآتي :

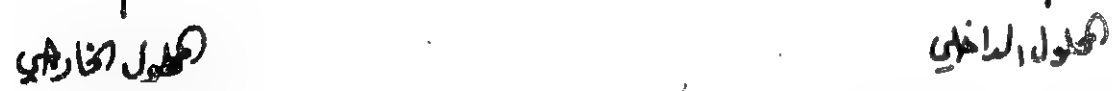
- (أ) ان استخدام العامل المثبط لفترة قصيرة ولو أنه ادى الى انخفاض تكوين الـ
ATP الى الثلث إلا أنه عوض عنه مما هو موجود ومخزون منه فعلا بداخل
النبات بحيث تمكن النبات من امتصاص الفوسفات .
- (ب) عند وجود العامل المثبط لفترة طويلة ولعدم تكون الـ ATP الجديد
واستهلاك النبات للـ ATP المتواجد اصلا بداخله فان النبات لم يستطع
القيام بامتصاص الفوسفات .

من هذه التجارب يتضح مدى الارتباط بين الـ ATP وامتصاص ايونات
العناصر الغذائية .

4.9.5 = دورة الفوسفاتيد

وبناء على ماتقدم فقد اقترح العالم (Dennet-Clark, 1956) ما يسمى بدورة
الفوسفاتيد (Phosphatide cycle) والتي بين فيها اشتراك الـ ATP المباشر في
امتصاص ايونات العناصر الغذائية . كما يتضح ذلك من الشكل (5-11) . حيث

200



عن : (Bennet-Clark, 1956)

ويمكن تلخيص الفكرة كالآتي :



والليستين يتحلل مائيا ليعطى الكولين وحامض الفوسفاتيديك كالآتي : -



والليستين يكون محملا بشحنات موجبة وسالبة ، ويمكن أن يتحلل ببطء دورية حيث يلتقط اثناءها الايونات من على السطح الخارجي ويطلقها بالته المائي الى الفراغ الداخلي . وتمثيل واحد على الاقل من مركبات دورة الفوس يحتاج الى ATP . هذه الفرضية تواجه عقبات عندما تطبق على النباتات الخ حيث أن النباتات لا تحتوي على الليستين والكولين Choline او انزيم (Choline esterase) ولما كانت النباتات تحتوي على مواد مشابهة وحيث أدخل بالفعل الـ ATP في عملية الامتصاص فانه فتح بذلك افقا جديدة واف جيدة لبحث كيفية اشتراك الـ ATP في عملية الامتصاص الحيوي لأي العناصر المعدنية .

إن العملية الدقيقة التي بواسطتها يسهل الـ ATP امتصاص ايونات العذ الغذائية وخاصة انتقالها عبر الاغشية الحيوية غير واضحة لحد الآن . غير أنه يوجد اتجاهان رئيسيان من الافكار المتعلقة بتسيير الامتصاص الايوني حيويًا باشتراك الطاقة من النبات الحي في صورة الـ ATP . الرأي الاول في الامتصاص على اساس الانتقال بواسطة حامل او ناقل وهذا يطلق عليه ن الحامل أو الناقل (Carrier theory) . والآخر يركز ويؤكد على أهمية الايوني (Ion pumps) عبر الغشاء .

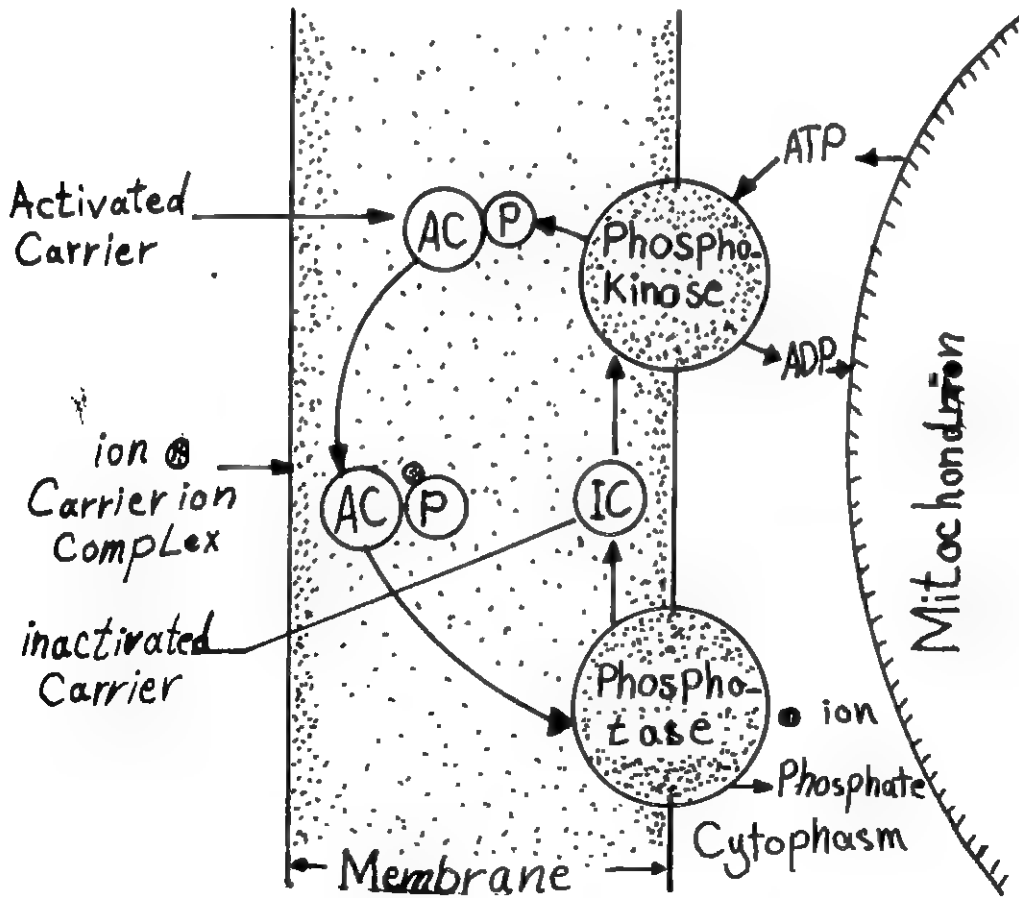
5.9.5 - نظرية الحامل (الناقل)

لقد اقترح منذ فترة طويلة بأن نقل الالكترونات يحتاج الى حامل أو ناقل ذكر فإن لوندريكارد اقترح الساييتوكروم لنقل الانيونات في فرضيته (ف التنفس الملحي) او الانيويني في حين اقترح الباحث بنيت - كلارك الفوسفوليبيد (الليستين) هي المادة الناقلة للالكترونات في حين يرتأي عدد آخ الباحثين على انها بروتينات أو حتى انزيمات امثال (Epstein, and Hagen 1962) و (Hodges et al. 1972) و (Mitchell 1966) .

ومها يكن الأمر فإنه يمكن القول بصورة عامة أن الاغشية الحيوية جزيئات خاصة تكون قادرة على نقل الايونات عبر الغشاء الحيوي وغير ا أصلا لايونات العناصر المعدنية ومثل هذه الجسيمات أطلق عليها بالحوام النواقل (Carriers) . ويعتقد حاليا بأن هذه الحوامل تمتلك صفة الت (Specificity) للايون المعين بمعنى أن لها القدرة فقط على نقل هذا الايون دون غيره ولو حدث أن كان الحامل متخصص لنقل ايونين فهنا يحدث تنافس

هذين الايونين على الموقع الفعال للحامل وبالطبع فايها أكثر تركيزا في وسط النمو ، فإنه يستطيع أن ينافس الايون الآخر ويمتص هو على حساب الايون الآخر وبالفعل فقد وجد أن هناك حاملاً متخصصاً لنقل ازواج الايونات مثل (Rb^+ , K^+) او (Ca^{2+} , Sr^{2+}) أو (SeO_4^{2-} , SO_4^{2-}) او الفوسفات والزرنيخات).

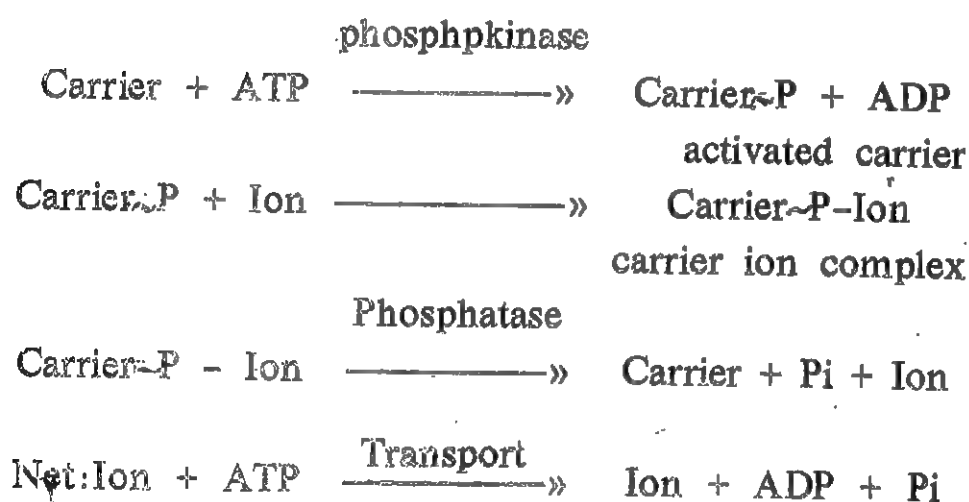
وبما تجدر الإشارة اليه انه لكي يتمكن الحامل من الارتباط بالايون ونقله عبر الغشاء فانه يحتاج الى عملية تنشيط (activated carrier) (AC) ويطلق على الحامل المنشط من قبل الـ ATP والمرتبط بالايون بمعقد الحامل والايون (carrier ion complex) وعندما يرتبط الايون بالحامل فإن شكل وتركيب الحامل يتغير وعندما يحرر ويطلق الايون الى داخل الغشاء فإنه يجب أن يحدد مرة أخرى ببذل طاقة أخرى في صورة الـ ATP لكي يعود الى شكله وتركيبه الاصلي والآن تعذر عليه الارتباط ونقل الايون المخصص له مجدداً . وهذا يوضح كيفية اشتراك الـ ATP في عملية الامتصاص والنقل الحيوي للايونات عبر الأغشية الخلوية كما يتضح ذلك من الشكل (5-12).



شكل (5-12) انتقال الحامل الايوني عبر الغشاء والمنشط بالطاقة من الـ ATP.
(Mengel and Kirbky, 1982) عن

ان الحامل ينشط بالطاقة من الـ ATP حيث يتكون الحامل النشط (activated carrier) (AC) وهذا يرتبط مع الايون وبذلك يتكون معقد الحامل والايون (Carrier Ion complex) وهذا المعقد يكون قابل الانتشار الغشاء الى الانزيم Phosphatase الذي يقع عند الحدود الداخلية للغشاء . يهضم انزيم الفسفاتيز بفصل مجموعة الفوسفات من الحامل المعقد (H_2PO_4) وهذه الكمية يعتقد بان الحامل يفقد صلاته بالايون الذي بدوره يتحرر وينطلق الى الوسط المجاور وهو الساييتوبلازم ولتحقيق الخاصية الاختيارية مرة ثانية فإنه كما ذكر يبحث الى الـ ATP وهذه العملية تحدث بواسطة انزيم Phosphokinase والذي يتواجد ايضا عند حدود الغشاء الداخلي . وان مركب الحامل المفسفر ربما يمد ذلك ينتج عائدا الى حدود الغشاء الخارجي لحمل ايون اخر وهكذا تباد دورة الامتصاص من جديد .

ويمكن توضيح ما سبق باختصار بالاتي : -



ان محصلة هذه المعادلات توضح بان انتقال ايون واحد خلال الغشاء يحتاج جزئية واحد من الـ ATP الذي يكون مسؤولا عن الطاقة المطلوبة .

ان فكرة الانتقال بالحامل هي فكرة مفترضة ولكنها توضح الحقائق الاساسية باستنتاجاته . وهذه الاستنتاجات هي ان الامتصاص الايوني المسير بالطاقة متصاص انتقائي Selective والطاقة من المحتمل ان تكون على شكل الـ P وان الامتصاص الايوني يأخذ مجراه ضد الانحدار في التركيز . اما اشتراك كل الانزيمات Phosphatase, Phosphokinase في الامتصاص الايوني الحيوي زال غامضا ولكن هناك ادلة على اشتراك الانزيمات في الامتصاص الايوني

ان الحاجز للجزيئات المحبة للماء hydrophilic (بمجاميع OH ، NH₂ ومجاميع الفوسفات ومجاميع الكربوكسيل) هو الوجه الدهني ولهذا يبدو ان الحامل او الناقل قد يكون من جزيئات الدهون . وبما ان الاغشية الحيوية نافذة لجزيئات الدهون لذلك فإن مثل هذا الناقل قد يكون باستطاعته الانتشار والانتقال عبر الغشاء . كما اشار (Muller and Rudin, 1967) ان المضادات الحيوية مثل Valinomycin, gramicidin ، nonactin قادرة على احداث امتصاص ونقل اختياري لايونات العناصر المعدنية فقد وجد على سبيل المثال ان معدل انتقال البوتاسيوم بواسطة الـ Valinomycin هو اكثر بحوالي 300 مرة مما هو في حالة الصوديوم .

6.9.5 - الضخ الايوني وانزيم الـ ATPase

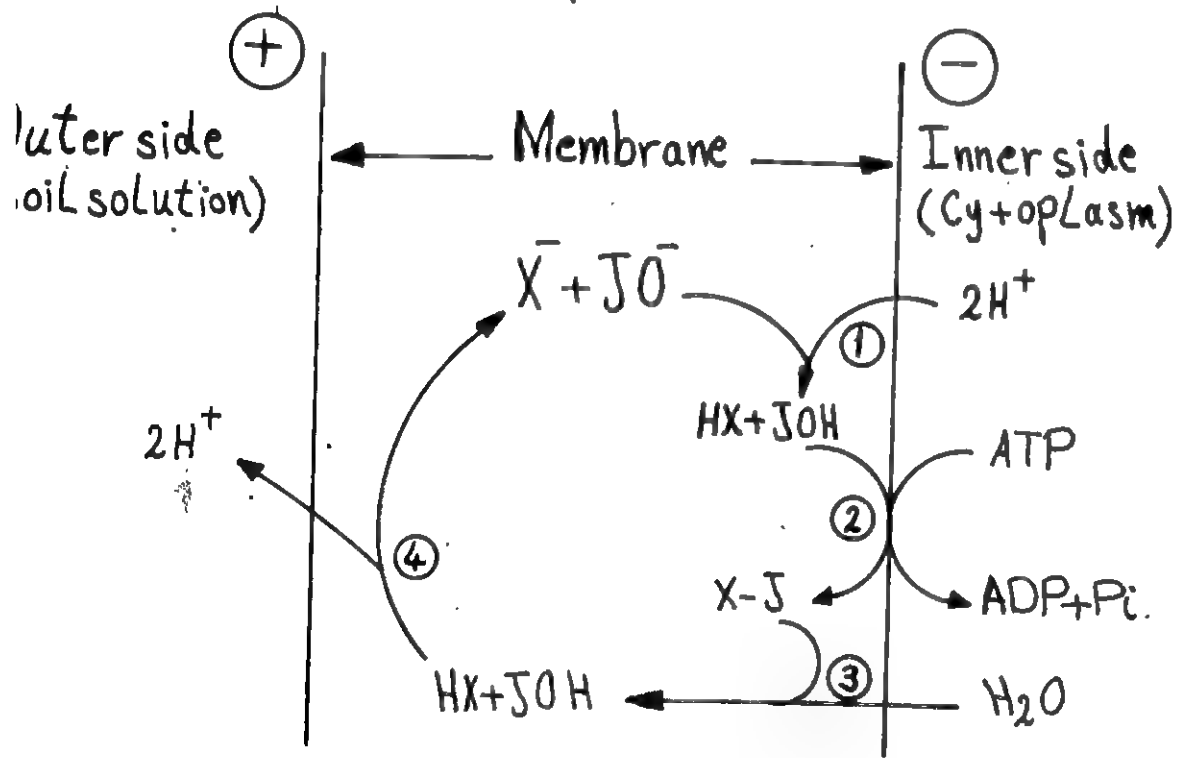
Ion pumps and ATPase

ان ميكانيكية الضخ الايوني والتي اكتشفت من قبل الباحثين (1966, Mitchell) ، (197 Hodges) (1976 Rather and Jacoby) ، (1978 Poole) قد اقترحت لتفسير الامتصاص والانتقال الايوني والمعتمد على الطاقة المتواجدة في الـ ATP خلال الاغشية الحيوانية . فالحلايا الحيوانية غالبا ما تحتوي على تراكيز عالية نسبيا من الـ K⁺ ، Cl⁻ في حين أن الوسط الخارجي يحتوي على تركيز عالي من الـ Na⁺ .

والمثال النموذجي لمثل هذا التوزيع الايوني هو ما موجود فعلا في الدم . حيث أن كريات الدم الحمراء تحتوي على تراكيز عالية من الـ K⁺ وتراكيز منخفضة من الـ Na⁺ بينما العكس هو ما موجود في البلازما حيث تحتوي تراكيز عالية من الـ Na⁺ بينما العكس هو ما موجود في البلازما حيث تحتوي تراكيز عالية من الـ Na⁺ وتراكيز واطئة من الـ K⁺ . هذا التوزيع غير المتماثل من الـ Na⁺ والـ K⁺ قد عزى الى نشاط انزيم الـ ATPase المعقد . إن الـ ATPases عبارة عن مجموعة من الانزيمات والتي لها القدرة على شطر الـ ATP الى ADP والفوسفات غير العضوية والتي يكون من نتيجتها هو تحرير الطاقة التي تستغل في عملية النقل الايوني وفي الخلايا الحيوانية يعتقد ان مضخة الايون (Ion pump) عبارة عن مركب مكون من انزيم الـ ATPase وبروتين سكري (glycoprotein) .

ولقد اقترح بأن التحليل المائي (Hydrolysis) للـ ATP يؤدي الى تغير في شكل البروتين بحيث يجعله أن يكون ملائما لنقل الكاتيون خلال الغشاء الحيوي .

إن الغشاء الحيوي الرابط للـ ATPase لكل من البكتريا والفطريات والنباتات الراقية تختلف عن مجموعة الـ ATPases الحيوانية ولا يعتقد أن التغير في شكل البروتين يكون هو الميكانيكية التي يتم بواسطتها نقل المغذيات خلال الأغشية النباتية . ولكن حاليا بوجه عام هناك قبول بأنه في الخلايا النباتية فإن الغشاء الرابط للـ ATPase وخاصة الـ ATPase لغشاء البلازما هو المسؤول عن الشحنة السالبة للخلية . هذه الشحنة السالبة هي ظاهرة سائدة وموجودة فعلا في كل الخلايا النباتية والتي يعتقد (Mitchell, 1978) انها تعود الى الـ ATP والذي يمثل مصدر الطاقة لعملية الامتصاص والانتقال الحيوي لأيونات العناصر الغذائية . وفي الشكل (5-13) رسم افتراضي آخر موضحا الميكانيكية الممكنة للـ ATPase (H^+ pump) كما بينها (Mengel and Kirbky, 1982) نقلا عن (1978, Mitchell).



شكل (5-13) نموذج أو موديل افتراضي (مضخة الهيدروجين H^+ pump) (ATPase) حيث يضخ H^+ لكل جزيئة واحدة من الـ ATP الى خارج الخلية . عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

إن الانزيم يتسبب في تغير في الـ pH خلال الغشاء نتيجة لضخ الـ H^+ الى خارج الخلية وهذه الكيفية تصبح الخلية أكثر سالبية وكذلك أكثر قاعدية مقارنة بالوسط الخارجي . وهكذا يتولد فرق في الجهد عبر الغشاء يتكون من الجهد الكيميائي نتيجة الاختلاف في تركيز ايونات الهيدروجين حيث يصبح تركيزها في الخارج أعلى من تركيزها في الداخل بسبب ضخ أيون الهيدروجين الى الخارج وكذلك من الجهد الكهربائي حيث يصبح الجزء الداخلي كما سبق أكثر سالبية بسبب ضخ الهيدروجين للخارج كما انها تصبح أكثر قاعدية . وهذا التغير في الجهد الكهروكيميائي (Electrochemical potentiell) يمكن وصفه طبقاً لما اشار اليه (Poolé, 1978) بالمعادلة التالية :

$$pmf = - pH +$$

حيث أن

(Proton Motive force) pmf

هي القوة المحركة للبروتون (H^+) او التغير في الجهد الكهروكيميائي لايونات الهيدروجين عبر الغشاء .

، pH هو الفرق بين تركيز ايونات الهيدروجين على جانبي الغشاء ،
، الفرق في الجهد الكهربائي خلال الغشاء

إن القوة المحركة للبروتون (pmf) هي القوة التي يتم بواسطتها نقل البروتونات (الكاتيونات) ضد التدرج في الجهد الكهروكيميائي خلال الغشاء . وإن عملية النقل تمتلك كل الخصائص والصفات لعملية النقل الحيوي او الفعال والتي يمكن توضيحها بالتفصيل فيما يلي :

الطاقة اللازمة لـ آلية النقل تشتق من الـ ATP وكما يتضح من النموذج الافتراضي شكل (1-2) وان ضخ ايون الهيدروجين الى الخارج يتوقف على الامداد بالـ ATP وقد افترض انه يتم انتاج وضخ $2H^+$ لكل جزيئة واحدة من الـ ATP . وكقاعدة عامة فإن ضخ أيون الهيدروجين الى الخارج يؤدي الى تغير الـ pH عبر الغشاء وهكذا فإنه يلاحظ أن هذه العملية هي عملية عكسية للميكانيكية التي يتم فيها تكوين وانتاج الـ ATP في غشاء Thylakoid للبلاستيدة الخضراء (chloroplast) او في الغشاء الداخلي للميتوكوندريا .

إن اساس عملية الضخ الايوني (H^+ Pump) في النموذج الافتراضي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بعملية الفسفرة الناتجة عن التناضح الكيميائي (Chemiosmotic phosphorylation process) والتي وضعت في فترة سابقة من قبل العالم (Mitchell, 1966) والتي يمكن توضيحها كالآتي :

- (1) الخطوة الاولى توضح التفاعل للجزيئات المتحركة والافتراضية للغشاء وهي X^- و JO^- مع $2H^+$ والاتيّة من الساييتوبلازم مكونة بذلك JOH , HX .
- (2) في الخطوة الثانية فإن HX , JOH تعمل على تحلل الـ ATP الى ADP , و Pi ويتكون نتيجة لذلك المركب المعقد $X-J$.
- (3) يلي ذلك تحلل المركب المعقد $X-J$ مائياً ليتكون من جديد كل من HX , JOH (الخطوة الثالثة)

(4) في الخطوة الرابعة يفقد كل من HX , JOH الهيدروجين الى خارج الغشاء ويتكون مرة أخرى X^- , JO^- وهكذا يمكن أن تعاد الدورة وتبدأ مرة أخرى من جديد.

ان المحصلة النهائية لهذه الدورة هو تحرر $2H^+$ الى خارج الغشاء والمرتبطة بتحلل جزيئة واحدة من الـ ATP مائياً.

ويتضح نتيجة لهذه العملية هو نشوء وتكون فرق في الجهد الكيمياوي وكذلك فرق في الجهد الكهربائي على الغشاء كما يصبح الجانب الداخلي للغشاء اكثر سالبية وفي نفس الوقت اكثر قاعدية بعكس الجانب الخارجي الذي يصبح اكثر حامضية وتزداد في نفس الوقت شحنته الموجبة كما أشرنا الى ذلك سابقاً. وهذه الكيفي فان الكاتيونات تجذب الى داخل الغشاء اي الى الساييتوبلازم وبالتالي فانها تقو بمعادلة التغير في الجهد الناشئ عن تحلل الـ ATP .

إن هذا النوع من الامتصاص الكاتيوني يعتمد بدرجة كبيرة على نفاذية الغشاء (Membrane permeability) والتي تختلف بدرجة كبيرة باختلاف الكاتيونات وحيث ان الغشاء لا يكون نفاذاً بصورة كاملة للأيونات فان الكاتيونات تنتشر خلال القنوات او المسام (Channels) الموجودة في الغشاء (غشاء البلازما Plasmalemma) بالتبادل مع الهيدروجين وتنتقل بذلك الكاتيونات من الوء الخارجي الى الساييتوبلازم وقد اطلق (Higinbotham, 1973) على هذه العم اصطلاح التناضح الكهربائي (Electroosmosis) ومثل هذا الانتشار الايوني يسمى ايضاً من قبل باحثين آخرين بالنفوذ الكهربائي.

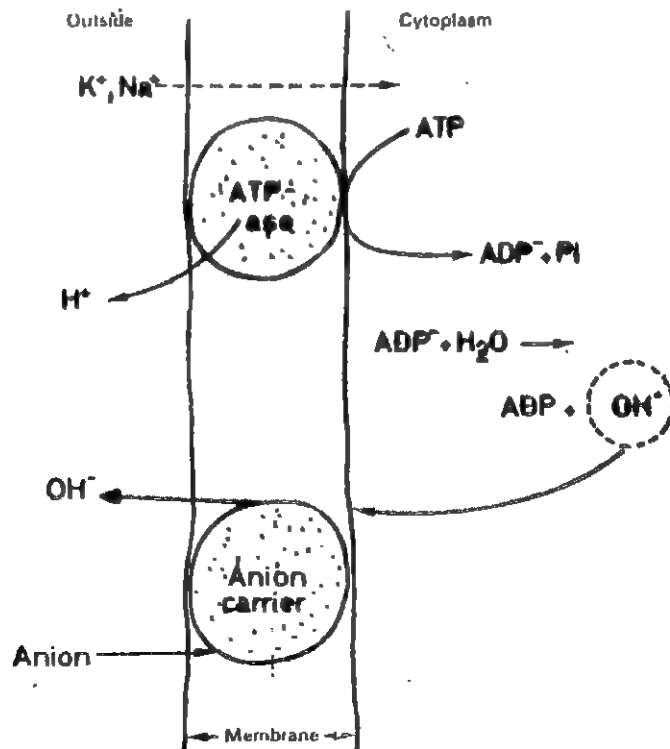
ويذكر أن الميكانيكية مجد ذاتها لا تسمح بالامتصاص الاختياري او الالة حيث لا يحدث تمييز بين انواع الكاتيونات مثل الـ K^+ او Na^+ بيد ان الء الخلوي يمتلك كما اشرنا الى ذلك مسام او قنوات والتخصص (Specificity) لا

قد تكون في طبيعة المواد الكيميائية المبطنة لهذه القنوات وهذه الكيمياويات هي عبارة عن مضادات حيوية (antibiotics) ربما تتفاعل اختياريًا مع بعض الأيونات أي أنها تسمح بانتشار أيون معين دون آخر ومثل هذا الانتشار الانتقائي أطلق عليه الانتشار الميسر (Facilitated diffusion) ومثل هذا الامتصاص الاختياري الميسر هو انتشار البوتاسيوم الذي يحفز بوجود مادة الـ (Valinomycin).

ويرتأي (1976, Rather and Jacoby) أن المعدل العالي لامتصاص البوتاسيوم يمكن أن يعزى إلى نشاط الـ ATPase الميسر لانتشار البوتاسيوم خلال خلايا النبات. إن مثل هذا النوع من الامتصاص هو امتصاص حر أو سلبي للبوتاسيوم، غير أن هناك دلائل أوضحت أن البوتاسيوم يمكن أن يتمص أيضًا حيويًا أي نتيجة بذل طاقة من قبل النبات الحي.

أما امتصاص الأنيونات فلا يمكن تفسيرها على أنها تتم بعملية الامتصاص السلبي أو الحر لأنها محملة بشحنات سالبة ويجب التغلب على شحنة الجدار الخلوي وغشاء البلازما السالب الشحنة أيضًا. ومع ذلك فهناك اقتراحات وافتراضات على إمكانية تبادل الأنيونات في الوسط الخارجي مع الـ HCO_3^- ، OH^- .

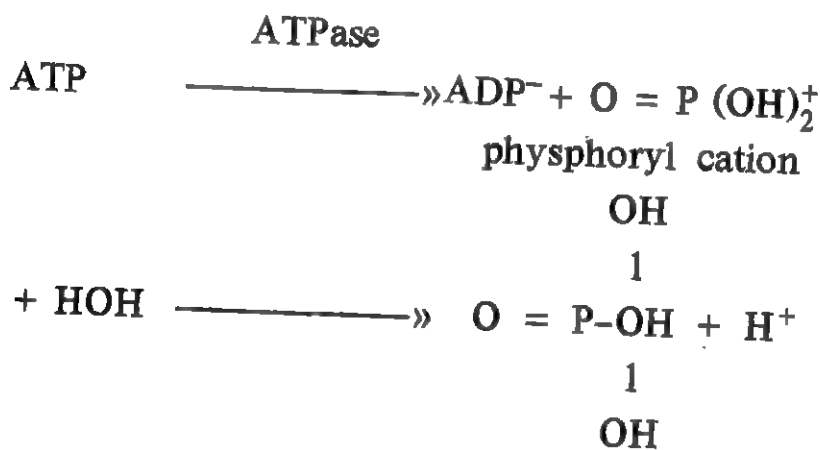
كما أن (1873, Hodges) قد افترض نموذجًا آخر لتفسير كلا من الامتصاص الكاتيوني والانيوني من الوسط الخارجي ودخولها إلى المحلول الداخلي للنبات (السايتوبلازم)، كما يتضح ذلك من الشكل (5-14) المقترح من قبله.



شكل (5-14) فرضية الضخ الأيوني (H^+ Pump) بواسطة الـ ATPase والمرتبطة بالحامل الأنيوني. محورة عن (Hodges, 1973).

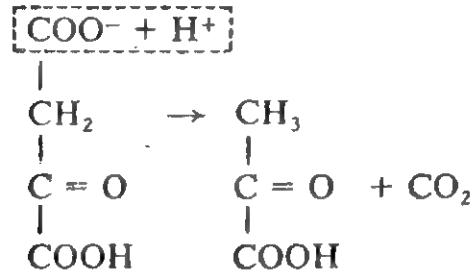
وفي تجارب سابقة أوضح كل من (Fischer et al., 1970) و (Hodges et al., 1972) وجود ارتباط وثيق بين نشاط انزيم الـ ATPase ومعدل الامتصاص الايوني. وهذه الملاحظات تقترح بقوة بان الـ ATP هو الطاقة للانتقال الايوني وان الـ ATPase لغشاء البلازما يجهز الطاقة اللازمة الـ ATP واللازمة لعملية النقل هذه.

من المعتقد ان الغشاء الذي يحتوي على الـ ATPase يعمل على فصل الـ ATP الى الـ ADP⁻ وكاتيون الفسفور. ان كاتيون الفسفور هذا غير ثابت وبما يتفاعل مع الماء محررا ايون H⁺ طبقا للمعادلات الاتية :



ان ايون الهيدروجين سيتحرر الى الوسط الخارجي للخلية اي انه يفرج خارج ويتولد عن ذلك تغير في الـ PH عبر الغشاء. اما الانيون الـ ADP⁻ في الساييتوبلازم ويؤدي الى رفع الجهد الكهربائي السالب للخلية بدرجة اعلى من الكهربائي السالب الموجود في الوسط الخارجي حيث يتحلل الـ ADP⁻ والذي ينتج عنه تكون الـ OH⁻ والذي يبقى في الساييتوبلازم وهو الذي يرفع زيادة الجهد الكهربائي السالب للخلية مقارنة بالجهد الكهربائي السالب الخارجي. وهذا ما وجد بالفعل في الخلية النباتية الحية التي تكون محملة سالبة بدرجة اعلى من الوسط الخارجي. ولقد وجد ان الفرق في الجهد السالب بين الخلية والوسط الخارجي هو محدود (60 الى 160 مليفولت) ان الخلية سالبة الشحنة فانها تقوم بجذب الكاتيونات والتي تتبادل مع الهيدروجين وهي نفس الفكرة المقترحة من قبل (Mitchell 1966) والتي ينطبق عليها فكرة الانتشار الميسر. اما بالنسبة للانيونات فقد اقترح هود جزبان الهيدروكسيل OH⁻ الناتجة من تحلل الـ ADP⁻ تقوم بجلب الحامل (Anion carrier) وبذلك يحفز الامتصاص الانايوني الاختياري عن طريقه مع الـ OH⁻.

وبالإضافة الى ذلك فإن الرقم الهيدروجيني يرتفع (نتيجة استهلاك H^+ وتكوين OH^-) نتيجة عمليات الـ (Decarboxylation) التي تحدث للانيونات العضوية التي ينتج عنها استهلاك الـ H^+ كما يتضح ذلك مما يلي :



Decarboxylation

كما انه في النباتات النامية والمغذاة بصورة الـ ($N-NO_3^-$) ونتيجة لاختزالها بداخل النبات ينتج عنها كذلك ايون الـ OH^- وبذا فإن النبات يقوم بامتصاص الانيونات بوسيلة اخرى دون تدخل انزيم الـ ATPase . ولذلك فقد اقترح انه في حالة عدم وجود عملية الفسفرة فإن امتصاص الكاتيونات يتأثر بدرجة اشد من تأثير امتصاص الانيونات نتيجة لزيادة افراز ايونات الـ OH^- اكثر من الـ H^+ على جذور النباتات (1969 Kirby) و (1973 Hodges) .

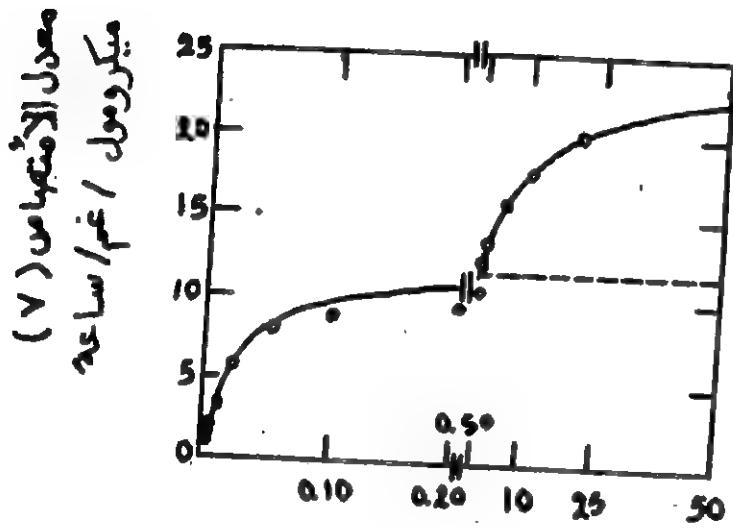
10.5 - الطريقتان الميكانيكيتان للنقل الحيوي للايونات المعدنية :

The Dual mechanisms for active transport of ions

1.10.5 فكرة عامة

عند دراسة العلاقة بين سرعة انتقال البوتاسيوم وتركيزه في وسط النمو بحيث كان التركيز لايزيد عن 0.2mM . لوحظ ان سرعة الانتقال تزداد في البداية بدرجة أكبر مع زيادة التركيز ثم تقل السرعة بعد ذلك تدريجياً مع زيادة التركيز ومع استمرار زيادة التركيز تقل السرعة أيضاً بدرجة اقل الى أن تصل السرعة الى حدها الاقصى للانتقال وبعد ذلك عندما يزداد التركيز بحيث لايتجاوز 0.2mM فان ذلك لا يكون له أي تأثير على السرعة القصوى وبمعنى آخر أن زيادة التركيز الى الحد 0.2mM لا يؤدي الى أية زيادة واقصى سرعة للانتقال هي السرعة القصوى وعند هذا الحد من التركيز تنطبق عليها معادلة (Michaelis-Menten) (Kinetic) . ولكن ماذا يحدث في الامتصاص لو زدنا التركيز عند هذا الحد بحيث نصل الى 50mM .

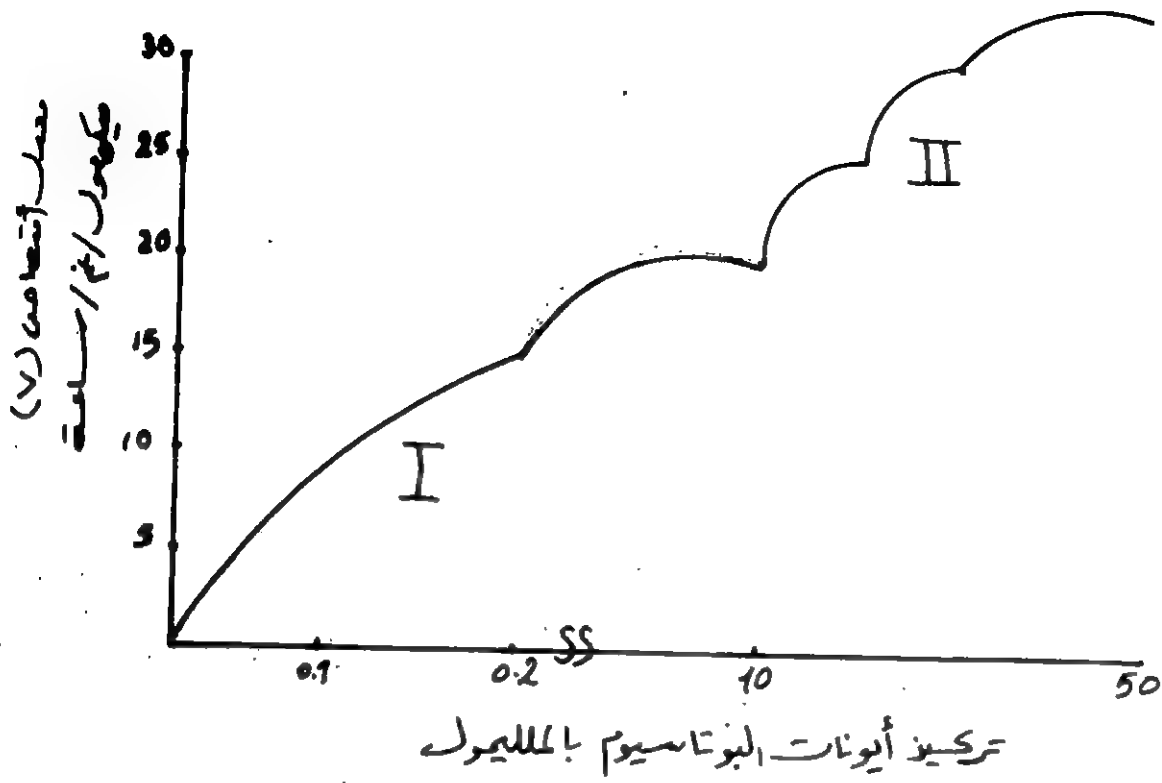
لقد وجد فعلا حدوث زيادة في السرعة تفوق السرعة القصوى V_{max} وحصل انكسار في منحنى السرعة ما بين 0.2-0.5 mM وهذا يدل على ان هناك اكثر من ميكانيكية لانتقال الايونات . الميكانيكية الاولى تحدث في التراكيزات المنخفضة حتى حدود 0.2mM ثم هناك ميكانيكية ثانية تحدث في التراكيزات العالية (الاعلى من 0.2mM وعادة اعلى من 1mM) كما في الشكل (5-16) .



تركيز المحلول بالمليمول $K, (mM)$

شكل (5-16) توضيح معدل امتصاص البوتاسيوم (v) كدالة لتركيز KCl في المحلول . وتركيز $CaCl_2$ هو $0.5 mM$ ، وهو الثابت في معادلة Michaelis-Menten كان $0.021 mM$ ، السرعة القصوى $11.9 \text{ mole/g fr. w./hr.}$ عن : (Epstein et al, 1963) .

ويظهر ان الميكانيكية الثانية تختلف عن الميكانيكية الاولى حيث الميكانيكية الاولى تظهر في التراكيزات المنخفضة كما تبين سابقا في حين الميكانيكية الثانية تحصل في التراكيزات الاعلى أي ما بين (1-50 mM) لوسط النمو . كما يبدو أن الميكانيكية الثانية قد تظهر بشكل متقطع وهذا على أن الحوامل الناقلة للايونات أو الايون قد تمتلك أكثر من موقع فعال Site حيث أن كلا منها يصبح فعالا لنقل الايون عند تركيز معين . ويكون سرعة الامتصاص هو حاصل جمع سرعة الامتصاص للميكانيكيتين الاولى و كما في الشكل (5-17) .



شكل 5-17) معدل امتصاص أيونات البوتاسيوم بواسطة جذور الشمير ويظهر أن الميكانيكية I تحدث في التركيزات المنخفضة في حين أن الميكانيكية II تحدث في التركيزات العالية وبشكل متقطع ؛ عن (Epstein et al., 1963)

ويبدو أن الامتصاص بواسطة الميكانيكية الأولى يكون اختيارياً ومتخصصاً بحيث أن الأيونات سواء أكانت متشابهة كيميائياً مثل K^+ ، Na^+ ، أو حتى المختلفة مثل K^+ ، Mg^{2+} ، Ca^{2+} ، Li^+ لا تؤثر على امتصاص البوتاسيوم عند تواجدها في وسط النمو ، بينما الامتصاص بواسطة الميكانيكية الثانية تكون غير متخصصة بمعنى أنها غير اختيارية أو غير انتقائية أو أن قدرتها على الاختيارية تكون أقل وهذا يرجع إلى أن المادة الحاملة قد تحتوي على عدة أماكن فعالة متخصصة كل منها يعمل عند تركيز معين ولا يشترط أن تكون متخصصة أو اختيارية لهذا العنصر الأمر الذي يؤدي إلى حدوث منافسة أو تداخل للأيونات مع الأيون موضع الدراسة . كما يبدو أن الأنيون المصاحب أو المرافق للبوتاسيوم لا يؤثر في امتصاص البوتاسيوم بواسطة الميكانيكية الأولى في حين أنه قد يؤثر على امتصاصه عند الميكانيكية الثانية .

المو
V_m

ان
ان
تركيز
يدل
Act:
معدل
لثانية

Location of the mechanisms

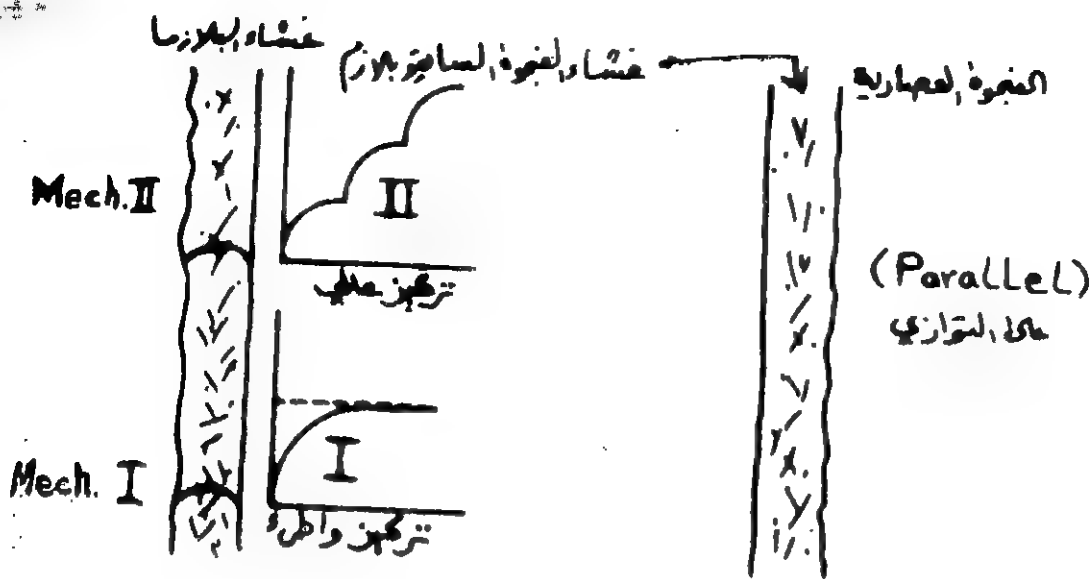
2.10.5- مكان عمل الميكانيكيتين

إن القبول بوجود ميكانيكيتين مختلفتين لامتناس الايونات حيويًا دعت الباحثين لأجراء التجارب الكثيرة لمعرفة مكان عملها بالنسبة لأغشية الخلية المختلفة. وعلى ضوء هذه الدراسات فقد تبين أن الميكانيكية الأولى تعمل في غشاء البلازما حيث وجد أن هناك ألفة قوية للأيونات الممتصة والموجودة بتركيز واطي في محلول التربة كأيونات البوتاسيوم والتي يرتأي العلماء أن على هذه الأيونات أن تحترق أولاً غشاء البلازما لكي تصل إلى المحلول الداخلي (السايتوبلازم) للخلية النباتية.

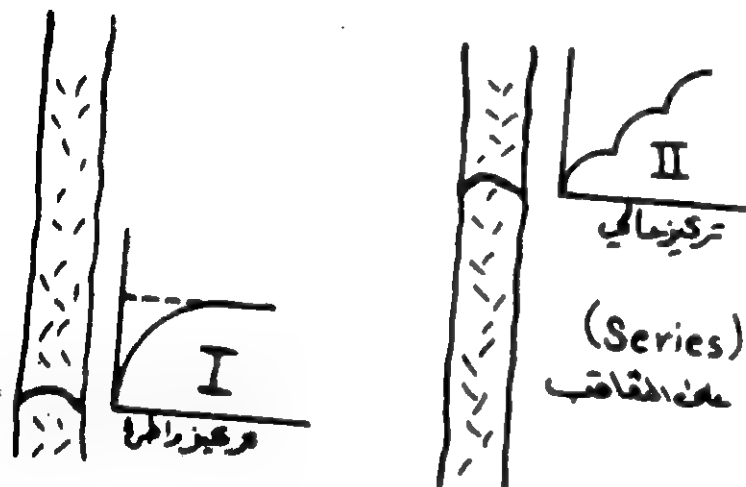
ومن الدلائل المؤيدة لوجهة النظر هذه من أن الميكانيكية الأولى تعمل في غشاء البلازما هي النتائج التي وجدها الباحث Viets حيث لوحظ أن وجود الكالسيوم في وسط النمو الخارجي هو الذي يحفز ويزيد من محصلة امتصاص البوتاسيوم كما سبق ذكره كما أن غياب الكالسيوم في محلول التربة أو الوسط الخارجي يقلل من الاختيارية (Selectivity) للبوتاسيوم مما يعرقل عملية امتصاصه.

أما الميكانيكية الثانية فهي لا تزال قيد الدراسة حيث أن هناك آراء مختلفة بصدها فبينما يفترض (Epstein et al, 1963) بوجودها في غشاء البلازما وإنه تعمل بالتعاون والتكامل مع الميكانيكية الأولى والمتواجدة أيضاً في غشاء البلازما يقترح (Osmond and Laties, 1968) بأن الميكانيكية الثانية تعمل في غشاء الفجوة (Tonoplast).

ومن هذا فإنه يستنتج بأن الميكانيكيتين إما أن تعملان بالتوازي (parallel) في غشاء البلازما حيث تعمل الميكانيكية الأولى في التركيز المنخفض والثانية في التركيز العالي. أو بالتعاقب (Series) حيث تعمل الميكانيكية الأولى في غشاء البلازما عند التركيز المنخفض بينما تعمل الميكانيكية الثانية على التعاقب في غشاء الفجوة (التونوبلاست) في التركيز الأعلى كما يتضح ذلك من الشكل (5-18)



انتقال الأيونات على التوازي في غشاء البلازما



انتقال الأيونات على المتعاقب في غشاء البلازما والتونيد لا مسته (غشاء لفجوة)

شكل (5-18) توضيح مكان عمل الميكانيكيتين بالتوازي (Parallel) في الجزء العلوي من الشكل بالمتعاقب (Series) في الجزء السفلي من الشكل عن: (Epstein, 1972)

ي
د
ن
ل
ة

لفة
إنها
زما
شاء

(Par
ية في
غشاء
غشاء
(1)

على واحد من الأوراق المعدية

11.5 - انتقال المغذيات المعدنية بالنسخ الصاعد والنسخ النازل
أقترح بعض الباحثين (Mashell و Phiddis, 1936, Maskell, Mason, 1931) وكذلك Mason و Mashell أن أيونات العناصر المعدنية تنتقل الى الاعلى في النبات عن طريق النسخ الصاعد الذي يحصل بتأثير النتج فتصل الى الاوراق ومن ثم تنقل الكميات الزائدة منها الى الاسفل عن طريق النسخ النازل في اللحاء . ونظرا لأن الايونات المعدنية قد تنتقل جانبيا من اللحاء الى الخشب ففي هذه الحالة يحصل لها انتقال الى الاعلى مرة اخرى وهذا ما يحصل بسهولة بالنسبة لبعض العناصر مثل النروجين واليوتاسيوم والفسفور . اما بالنسبة للمكاسيوم فإنه ينتقل الى الاعلى بواسطة الخشب ولكنه لا يعود للانتقال الى الاسفل بواسطة اللحاء .

لقد أوضح Biddulph (1941) وكذلك Biddulph وآخرون (1958) أن عنصر الفسفور ذو انتقالية عالية في النبات واقترحوا لهذا العنصر دورانا مستمر بحيث ان ذرة معينة من الفسفور يمكن ان تكمل عدة دورات كاملة في النبات يوم واحد (Biddulph, 1959) . وبالنظر الى ان الفسفور يكون مشاركا بالضرورة في كثير من الفعاليات الميتابوليكية المهمة مثل التركيب الضوئي ، تكوين النشا التحلل السكري (Glycolysis) ، وتكوين الدهون والبروتينات والحوامض النووية وغيرها فان النبات يحتاج الى الفسفور في المناطق المختلفة التي تحصل فيها هذه الفعاليات ولذلك فقد اقترح Biddulph, 1959 ، وجود مجمع (Pool) الفوسفور الجاهز للاستعمال خلال النبات بأكمله وبتركيز متجانس نسبيا .

أما الكبريت فيكون قابلاً للانتقال في النبات ولكن بالنظر لاستعماله السريع تكوين المركبات الميتابوليكية فلا يحصل له دوران في النبات كما يحصل بالنسبة للفسفور . فمثلاً عندما يتم امتصاص الكبريت المشع من جذور نبات الفاصوليا ينتقل بسرعة الى الاعلى بواسطة النسخ الصاعد في الخشب (Biddulph وآخرون 1958) وخلال اربع وعشرون ساعة يكون معظم الكبريت المشع موجوداً في الاوراق الفتية حيث ينتقل الكبريت من الاوراق البالغة الى الاوراق النامية بسرعة . ولما كان الكبريت يدخل في تركيب البروتين وإن عملية تكوين البروتين تحصل بدرجة اكبر في الاوراق الفتية مقارنة بالاوراق البالغة في الافتراض بأن هذا يؤدي الى انتقال الكبريت ومسكه ميتابوليكيا في الاوراق الفتية النامية .

كذلك وجد Biddulgh وآخرون (1958) ان الكالسيوم المشع عندما يتم امتصاصه من قبل جذور نبات الفاصوليا فإنه ينتقل الى الاعلى بواسطة النسغ الصاعد الى المناطق المختلفة من النبات . ولكن الكالسيوم قليل الانتقال في اللحاء ولذلك فإنه يبقى ثابتاً تقريباً في النسيج الذي ينتقل اليه بواسطة النسغ الصاعد .

هذا وتوضح الدراسات المذكورة ان دوران العناصر المعدنية في النبات يحصل بأربعة اتجاهات عامة للحركة : نحو الاعلى ، نحو الاسفل ، جانبياً ، وإلى خارج النسيج . وبالنسبة للانتقال الى الاعلى فإنه يحصل بصورة رئيسية في نسيج الخشب ولو ان بعضاً من هذا الانتقال قد يحصل أيضاً في لحاء أنسجة قمة النبات . أما الانتقال الى الاسفل فيتم في نسيج اللحاء ولذلك يقال عادة عن الانتقال في اللحاء بأنه ثنائي الاتجاه Bidirectional . أما الانتقال الجانبي فيحصل بين الخشب واللحاء ويظهر ان الكامبيوم يلعب دوراً في ذلك . كذلك فان حركة العناصر المعدنية الى خارج الاوراق تحصل في كثير من الحالات وبصورة خاصة قبل سقوط الأوراق ويحصل هذا الانتقال خلال اللحاء ايضاً .

12.5 - العلاقة بين معدل الامتصاص وتركيز الايون في المحلول المغذي

إن معدل الامتصاص لأي أيون يعتمد على تركيزه في الوسط الغذائي وهذه العلاقة كما ذكرت تكون على شكل منحنى (Asymptotic Curve) وليست على شكل خط مستقيم . إن العالمين (Epstein and Hagen 1952) قد شبها المركب الحامل (Carrier) الذي ينقل الايون عبر الغشاء الخلوي بالانزيم والذي يمتلك العديد من الاماكن او المواقع الفعالة (Binding Sites) او (Active Sites) والتي تحتل من قبل ايونات العناصر الغذائية (Persson 1969) وان مدى إحتلال او اشغال الاماكن النشطة يعتمد على تركيز الايونات في الوسط الخارجي لنمو جذور النبات .

ولهذا فان الطاقة الحركية المنشطة التي تسمى (Michaelis-Menten Kinetics) يمكن أن تدخل في عملية الامتصاص الايوني .

فاذا قورن الايون الممتص بالمادة الخاضعة لفعل الانزيمات كما قورن الحامل مع الانزيم وتطبق معادلة Michaelis-Menten نحصل على

$$V = \frac{V_{\max} [S]}{K_m + [S]} \quad (1)$$

حيث ان V = سرعة التفاعل الحيوي او معدل الامتصاص والذي يقاس بالميكرومول / غم من المادة الطرية / ساعة

(Micro mole/g fresh weight/Hour)

V_{max} = السرعة القصوى (Micro Mole/g/hr)

$[S]$ = هي تركيز المادة المتفاعلة او تركيز الايون المتص بوحدة مليمول (nM)
 K_m = ثابت معادلة Michaelis-Menten هو تركيز المادة الاولية (Substrate)
 او تركيز الايونات المتصة التي تعطي نصف (اي 50%) السرعة القصوى من التفاعل او الامتصاص أي

$$(1/2 V_{max})$$

$$V = \frac{V_{max} [S]}{K_m + [S]}$$

ولنفرض ان معدل الامتصاص (V) يساوي ($1/2 V_{max}$) لذلك بالتعويض عن (V) بقيمتها الجديدة ($1/2 V_{max}$) في معادلة (1) نحصل على الآتي.

$$V_{max} = \frac{V \cdot [S]}{K_m + [S]} \quad (2)$$

وبحل المعادلة لحصل على

$$V_{max} [S] = 1/2 V_{max} \cdot [K_m + [S]]$$

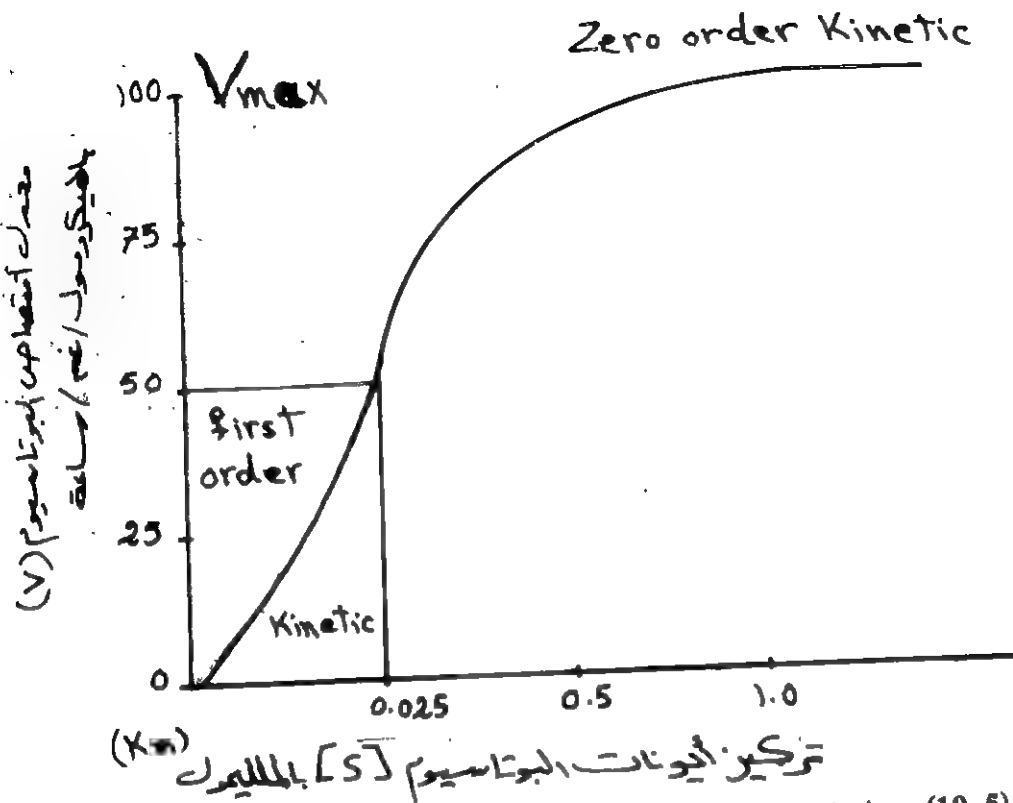
$$2 [V_{max} [S]] = V_{max} \cdot [K_m + [S]] \quad \therefore$$

$$2 [S] = K_m + [S] \quad \text{وبالاختصار يكون}$$

$$K_m = S$$

وهذا يعني ان الثابت K_m يساوي تركيز المادة الاولية او تركيز الايونات اللازمة للحصول على نصف السرعة القصوى من التفاعل او نصف معدل الامتصاص الاعظم.

وبما تجدر الإشارة اليه ان معادلة Michaelis-Menten قد ترسم بعدة اشكال غير ان اكثرها شيوعا هو المبين في الشكل (5-19).



شكل (5-19) معدل امتصاص البوتاسيوم بواسطة جذور الشعير يزداد بازدياد ايونات البوتاسيوم في المحلول المغنوي ، كما يبين Km. عن : (Conn and Stumpf, 1967)

ويتبين من الشكل انه في حالة التراكيز المنخفضة من الايونات [S] تكون علاقة سرعة الامتصاص (V) وتركيز ايونات البوتاسيوم كملاقة الخط المستقيم وهذا ما يطلق عليه في الكيمياء الفيزيائية (First Order Kinetics) (Andrews, 1970).
وحيث ان

$$V = K[S]$$

$$V = \frac{d[S]}{dt} = K[S]$$

وبما ان $\frac{d[S]}{dt}$ عبارة عن سرعة الامتصاص (V) لذلك يكون $V = K[S]$ حيث K هي كمية ثابتة .

وهذا يعني ان معدل الامتصاص (V) يساوي كمية ثابتة (K) مضروبا في التركيز [S] في حالة التركيزات الواطئة . اما عندما يصبح تركيز الايونات عاليا فعندئذ ينعدم تأثير التركيز [S] ويصبح

$$\frac{d[S]}{dt} = K$$

$$V = K$$

أي أن معدل الامتصاص (V) يصبح غير معتمد على تركيز الأيونات وهنا يحصل معدل الامتصاص الأعظم أو السرعة القصوى (V_{max}) وتصبح كل المواقع الفعالة للمادة الحاملة قد تشبعت بالأيون ، وفي هذه الحالة يرى (Barber 1979) أن معدل دخول الأيون عبر الغشاء الحيوي (Influx) يساوي تماما معدل خروجه (Efflux) لأنه لا يمكن بالحامل لعدم وجود مواقع فعالة فارغة وهذا ما يطلق عليه (Zero order Kinetics) كما يتضح من الشكل (5-19) السابق .



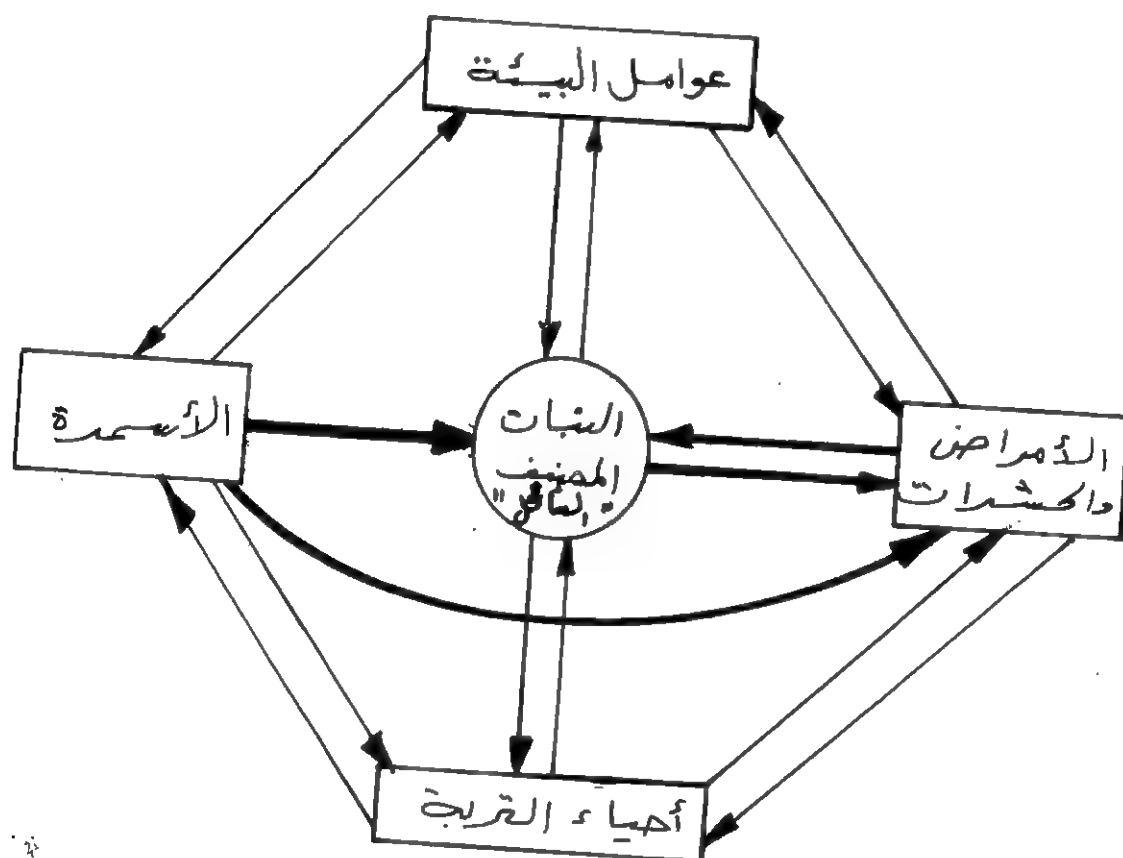
التغذية المعدنية ومقاومة النباتات او حساسيتها للاصابة بالامراض والآفات الضارة الاخرى

1.6 فكرة عامة

عندما يتناول المرء المشاكل الناجمة عن النقص بالعناصر الغذائية أو زيادتها بالنسبة للنباتات يمكن القول بوجود علاقات عديدة ومختلفة بين التغذية المعدنية وبين مقاومة النباتات أو عدم مقاومتها للإصابة بالامراض والحشرات . ان ذلك لا يرجع فقط لامكانية حصول التباس في التمييز بين الأعراض المتسببة عن سوء التغذية النباتية وبين الأعراض المشابهة لها والمتسببة عن اصابة النباتات بالامراض الطفيلية والحشرات ولكن ايضا لوجود علاقات متبادلة وتأثيرات معقدة ما بين التغذية بالعناصر المعدنية وبين الكائنات الحية المسببة للأضرار على النباتات .

ويشير العديد من الباحثين الى أن سوء التغذية النباتية بمعنى وجود العناصر الغذائية في محلول التربة أو في داخل النبات بشكل غير متوازن يجعل النبات يعاني من النقص أو السمية بعنصر غذائي أو أكثر مما يخلق ظروفًا مناسبة ومساعدة لانتشار الأمراض والآفات الضارة الأخرى لما تحدثه من اختلال في التفاعلات الحيوية المختلفة التي يقوم بها النبات حيث ينتج عنه تكون مادة أو أكثر تحفز نمو وانتشار الطفيلي . فقد اشار (Schäufele, 1978) الى وجود علاقة وثيقة بين الإصابة بالامراض والآفات الضارة والتغذية المعدنية من حيث كيفية وموعد اضافة الاسمدة الكيماوية وكذلك من حيث كمياتها وأنواعها .

وجاءت نتائجه مطابقة لما طرحه (Meyer, 1970) من أن مقاومة النباتات يمكنها أن تتأثر سلباً أو ايجاباً بعوامل البيئة المحيطة والتي منها التغذية المعدنية . ففي الشكل (1-6) رسم تخطيطي لتوضيح التأثيرات المتبادلة الممكنة والتي قد تحدث بين التسميد ، النبات العائل ، عوامل البيئة المحيطة ، أحياء التربة والأمراض والآفات الضارة الأخرى .



شكل (1-6) رسم تخطيطي يوضح التأثيرات المقعدة ما بين التسميد - النبات العائل - عوامل البيئة المحيطة - أحياء التربة - الأمراض والحشرات عن : (1983, Bergmann)

ويقصد بالمقاومة كما عرفها (Fuchs and Grossmann, 1972) بأنها قدرة النباتات على تحمل العوامل الخارجية بحيث تنمو بنوا صحيحة خاليا من الإصابة لتعطي أعلى حاصل وأجود نوعية وبأقل التكاليف . وبما تجدر الإشارة إليه أن المناعة المكتسبة أو الحساسية لأضافة الأسمدة الكيميائية تتوقف على جنس ونوع النبات أذ أن العوامل الوراثية تلعب دورا مهما في ذلك فقد بين (Ranga Reddy et al., 1975) أن زيادة اضافة السماد البوتاسي لم تكن لها أي تأثير على صنف الرز "T (N)1" الشديد الإصابة بمرض تبقع الأوراق

(*Xanthomonas oryzae*) في حين بالنسبة للأصناف الأقل حساسية للأصابة بهذا المرض مثل "IR8" فإن الإصابة قلت بها . ومما تجدر ملاحظته أن أوراق الصنف "T(N)1" تحتوي على تراكيز عالية من المركبات الفينولية ومن السكريات المختزلة وغير المختزلة ومن الأحماض الأمينية مقارنة بالصنف "IR8" في حين أن نقص البوتاسيوم في كلا الصنفين قد أدى الى زيادة هذه المركبات . ولذلك يجب أن يوضع بعين الاعتبار أن النقص أو الزيادة بالعناصر الغذائية تؤثر في مدى إصابة النباتات بالأمراض والحشرات . وكذلك اشار (Strachow and Jaroschenko, 1958) الى أن اختيار نوعية المغذيات من شأنها تشبيط النمو وعرقلة العلاقات المتبادلة بين النبات والطفيلي والتي تعمل على خلق وتهيئة الظروف الملائمة والتي تجعل النبات مقاوما للطفيلي .

إن .. حدث لهذا النبات والطفيلي ومعرفة الاسباب الحقيقية التي مكنت النبات من مقاومة هذا الطفيلي ومنعت من ظهور اعراضه على النبات أو في حالة إصابة النبات وظهور أعراضه ومعرفة الاسباب التي أدت الى الإصابة به يمكننا من الحصول على معلومات قيمة وجيدة في امكانية اختيار أفضل الطرق والوسائل في كيفية التعامل مع الاسمدة الكيماوية والتي يكون من شأنها تخفيف أو تقليل أو حتى منع الإصابة بمثل هذه الامراض أو الآفات الضارة .

ولاشك أن النباتات المغذاة بصورة كافية ومتوازنة من العناصر الغذائية تكون مناعتها ومقاومتها للإصابة بالامراض والحشرات أفضل من النباتات التي تعاني من النقص بأحد العناصر الغذائية أو المغذاة من جانب واحد (بمعنى التغذية بأضافة سماد كيماوي يحتوي على أحد العناصر الغذائية مع إهمال العناصر الغذائية الأخرى) أو النباتات التي تعاني من السمية بعنصر غذائي معين . فنمو النباتات المغذاة من جانب واحد لا يكون غير صحي فحسب ولكن يحدث فيها اختلال في تفاعلاتها الايضية وتكون أكثر عرضه للإصابة بالبكتريا والفطريات والحشرات والفيروسات .

فقد اوضح (Primavesi 1969) أن النبات المغذى تغذية جيدة يكون نموه أفضل ونادرا ما يتعرض للإصابة بالامراض والحشرات . وهناك اشارات واضحة بهذا الخصوص حيث نشر (Perrenoud 1977) بحثه الموسوم « البوتاسيوم وصحة النبات » كما ان هناك دراسة في مجلة معهد البوتاسيوم الدولي (Intern. potash Institue 1976) تحت عنوان « استخدام السماد وصحة النبات » .

ونود هنا أن نشير الى مذكره (Grossmann, 1970) و (Fuchs, 1972 and Grossmann) حول العلاقة بين الاسمدة ومقاومة النباتات للمسببات المرضية والحشرية كما يلي :-

1 - هناك تأثير للاسمدة على درجة تفاعل التربة (pH) مثل الامونيا واليوريا والكبريت وهذه تؤدي الى قتل الكثير من المسببات المرضية ومنها الامراض الفيروسية .

2 - الاسمدة العضوية والتي من شأنها زيادة نشاط احياء التربة فقد تؤدي الى انتاج بعض المضادات الحيوية (antibiotics) والتي قد تفتك بأنواع مختلفة من المسببات المرضية والآفات الضارة الاخرى .

3 - النباتات المغذاة تغذية جيدة ومتزنة تكون قدرتها أعلى للتغلب على التقلبات البيئية المفاجئة كهبوب الرياح او سقوط الامطار بغزارة او التعرض للبرد والصقيع .

4 - إن ما تحدثه التغذية المعدنية من تغيير في التركيب المورفولوجي أو النسيجي كأن يحدث تقوية لطبقة الكيوتيكل أو ترسيب السليكا في الانسجة او تقليل نفاذية الانسجة او زيادة الشعيرات في طبقة البشرة يكون بلاشك له دور في رفع مناعة النباتات وقلة تعرضها للاصابة بالامراض والحشرات .

5 - قد يكون للاسمدة تأثير على العوامل المؤثرة في التفاعلات الحيوية كمثبطات ومحفزات النمو كالمهرمونات النباتية .

6 - قد يكون للتغذية المعدنية دور في انتاج مضادات حيوية للفطريات والتي قد تتكون بواسطة الفطريات نفسها او نتيجة للتفاعلات الحيوية للنبات نفسه .

7 - الموت السريع الذي يحدث للخلايا والانسجة النباتية حول المنطقة المصابة نتيجة لحساسيتها المفرطة يقلل فرصة انتشار المرض الى الانسجة السليمة المجاورة .

8 - بناء طبقة فليينية حول المنطقة المصابة يقلل أيضا فرصة انتشار المرض .

وبالرغم من الدراسات العديدة والبحوث التي كثبت أو نشرت فيما يخص العلاقة بين التغذية المعدنية ومقاومة النباتات للأمراض والحشرات فإنه ليس بوسعنا حاليا الخروج بصورة واضحة ومتجانسة عن تأثير العناصر الغذائية مجتمعة (التغذية المتكاملة) او كل منها على انفراد ومدى المناعة التي تسببها للنبات بالرغم من وجود مؤشرات في ذلك .

صحيح أن اضافة الاسمدة تؤدي الى زيادة الحاصل وتحسين نوعيته ولكن حاليا هناك اتجاه لمعرفة تأثير هذه الاضافات على تلوث البيئة (تقريبا كما هو الحال نتيجة للتوسع في استخدام المبيدات). ويجب أن يكون الهدف والمبدأ من اضافة الاسمدة

الكيميائية هو حاجة النباتات فقط بحيث لا تمثل تلك الاضافات نقصا او سمية بها لرفع كفاءة النباتات لمقاومة الامراض والحشرات او تحملها لظروف البرد او الجفاف كما يجب أن يراعى فيها محتوى النباتات من العناصر الغذائية والمركبات العضوية وغير العضوية الناتجة عنها لكي تفي بحاجة الانسان او الحيوان الذي يتغذى عليها وحتى لا تكون سامة أو ضارة له . وعلى هذا الاساس فان الاتجاه الذي كان سائدا في الماضي وهو استخدام كميات عالية من الاسمدة الكيميائية لا يمكن القبول به حاليا ويحتاج الى اعادة النظر فيه والى اجراء الدراسات والبحوث والتفكير من جديد لبحث العلاقات والتأثيرات المختلفة والمتبادلة بين التغذية المعدنية ومقاومة النباتات للامراض والحشرات من وجهة نظر جديدة ومغايرة لما كان متبعاً في الماضي .

والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو هل هناك علاقة بين التغذية المعدنية او بين محتوى النباتات من العناصر الغذائية والمناعة او الاصابة بأمراض او حشرات معينة دون غيرها؟ ومحاولة معرفة الاسباب الفعلية في ذلك للتمكن من وضع سياسة صحيحة لاضافة المغذيات النباتية والذي من شأنه تفادي او على الاقل تقليل الاصابة بها . واذا ما ادرك الدور الكبير والمتعدد الجوانب الذي تلعبه العناصر الغذائية في حياة النبات فانه من السهولة ان نتصور أن للتغذية المعدنية دور ما في رفع قدرة النبات لمقاومته للامراض والحشرات او تعرضه للاصابة بها . كذلك لا يوجد ادنى شك من ان التغذية الجيدة والمتزنة تؤدي الى نمو نباتات سليمة خالية من الاصابة . وهذا يتضح اذا ما علمنا انه في الخلية النباتية الواحدة يوجد آلاف الانزيمات والتي طبقا للشفرة الوراثية تعمل معا او على التعاقب . ومن المعروف أن هذه الانزيمات لا يمكن أن تتكون او تعمل في حالة نقص أو غياب العناصر الغذائية . وطبقا لما ذكره (Voisin و1959) فإن العناصر الغذائية وخاصة العناصر الغذائية الصغرى تلعب دورا هاما في ميكانيكية التفاعلات المسؤولة عن الدفاع عن النبات فهي اما ان تدخل مباشرة في تكوين الانزيم او انها ضرورية لنشاطه كدخولها في مرافقات الانزيمات . وعلى هذا الاساس فهي تعمل كمحفزات او مشبطات للنمو .

ولكي تحدث الاصابة بالامراض او الحشرات فلا بد من أن تنهياً للنبات العائل (Host plant) الظروف المناسبة لذلك والتي تنعكس في توجيه التفاعلات الحيوية لصالح المسبب المرضي . فمثلا تجمع الاحماض الامينية او السكريات قد يزيد من شدة الاصابة حيث يزداد تركيز هذه المواد في الخلية النباتية ويقل الجهد المائي لها فتقوم بسحب الماء من الخلايا المجاورة فيزداد ضغطها الانتفاخي على جدار الخلية

متصبح اكثر رقة واشد عرضة للتمزق مما يسهل فرصة اصابتها بالامراض الفطرية وغيرها . ولذلك يجب أن نعرف كيف وفي أي اتجاه تؤثر العناصر الغذائية في التفاعلات الايضية للنبات .

هذا وقد بين (Meyer, 1970) ان الاسمدة المضافة يجب ان تختلف حسب جنس ونوع النبات والطفيلي وكذلك حسب عوامل التربة لكي يكون السداد وسيلة ناجحة وفعالة لتفادي الاصابة بالامراض والآفات الصارة او تقليل فرصة تكاثرها وانتشارها . هذا وذكر (Chaboussou, 1972) ان النبات يكون عرضة للاصابة بقدر ملاءمة حالته البيوكيميائية للمسبب المرضي والتي من شأنها تقديم التغذية الكافية لنمو وتكاثر الطفيلي .

فقد توصل (Ibenthal, 1982) في تجاربه على ثلاثة اصناف من الشعير الصيفي الى ان الصنفين (Amsel, Asse) اللذان اصابا بمرض البياض الدقيقي (*Erysiphe graminis*) كان محتوى بشرة اوراقها من السكريات الذائبة عاليا في حين كان محتواها من الاحماض الامينية الذائبة واطنا . اما الصنف (Ruppe) المقاوم للاصابة بهذا المرض فكان العكس هو الصحيح كما كانت درجة تفاعله اقل بحدود 0.3 وحدة pH مقارنة بالصنف (Amsel) . إن الاضافة الملائمة للاسمدة الكيميائية يجب الا ينظر اليها بمنظار مجرد فقط وهو رفع الانتاجية وتحسين نوعية المحصول ولكن يجب ان يراعي فيها كذلك الناحية الصحية للنبات والتي من شأنها رفع قدرته على مقاومة الامراض والآفات الحشرية الضارة الاخرى مع المحافظة على البيئة من التلوث ومراعاة صحة الانسان والحيوانات التي تتغذى على هذا المحصول .

قد يقع الانسان في خطأ عندما يعتقد أن التغذية الجيدة تسهل اصابة النبات بالامراض الفيروسية ولكن الدراسات العديدة قد اوضحت قلة الاضرار الناتجة من الاصابة بها في حالة التغذية الجيدة والمتزنة . فقد أشار (Albrecht, 1970) بأنه في التربة الخصبة ذات المحتوى المتزن من العناصر الغذائية تكون النباتات النامية عليها اقل عرضة للاصابة بالامراض والحشرات . وقد أيدته في ذلك (Fuchs and Grossmann, 1972) عندما ذكروا من أن التغذية السليمة تزيد قدرة النباتات لمقاومة الامراض .

وطبقاً لما بينه (Chaboussou, 1972) يجب ان يكون الهدف الاساس من اضافة العناصر الغذائية هو الحصول على كمية جيدة من البروتين وأيدما توصل اليه (Albrecht, 1970) من ان النباتات ذات المحتوى العالي من البروتين قد ازدادت مناعتها ضد الاصابة بالامراض والحشرات .

هذا وقد أوضح (Fuchs and Grosman, 1972) بأن نسب العناصر الغذائية بعضها الى بعض في داخل النبات قد تلعب دوراً مهماً في زيادة او تقليل الاصابة بالامراض .

ولقد أشار (Antonova, 1971) الى مقاومة اصناف اللفت للمسبب لمرض الجذر الصولجاني (*Plasmodiophora brassicae*) وعلاقة ذلك بمعامل التوزيع (DC) Distribution coefficient لعناصر المنغنيز والنحاس والبورون في الاوراق والجذور ولايهم هنا الكمية المطلقة من هذه العناصر في كل من الاوراق والجذور ولكن المهم هو معامل التوزيع (DC) والذي يمثل نسبة تركيز العنصر الغذائي في الاوراق الى نسبته في الجذور بالجزء في المليون اي ان معامل التوزيع (DC) :

تركيز العنصر في الاوراق جزء / مليون

DC

تركيز العنصر في الجذور جزء / مليون

فاذا كان معامل التوزيع اكبر من واحد فإن النباتات تكون مقاومة بينها اذا كان معامل التوزيع اقل من واحد فتكون النباتات عرضة للاصابة بهذا المرض . وفيما يلي توضيح لدور العناصر الغذائية في مقاومة النباتات او اصابتها بالامراض والحشرات :

2.6 - دور التغذية الكاملة :

يقصد به التأثيرات الناتجة من جميع العناصر الغذائية وليس تأثير كل عنصر غذائي على انفراد . كما سبق ذكره يجب أن يراعى في اضافة الاسمدة الكيماوية الناحية الصحية للنبات فقد تكون العناصر الغذائية مكملة بعضها البعض او قد يكون لأحدها تأثيراً مضاداً لعنصر آخر وخصوصاً اذا ما كانت الكمية المضافة اعلى من الكمية المطلوبة .

والى جانب النتروجين فإن البوتاسيوم له دور مهم في اكساب النباتات المناعة ضد الامراض الفطرية والبكتيرية وان تأثير كل منها يضاد تأثير العنصر الاخر .

فقد اشار (Fuchs and Grossmann, 1972) الى ان التغذية الكاملة والملائمة تحسن من قدرة النباتات على مقاومة مسببات الامراض التالية :

(*Pseudomonas solanacearum*)

(*Xanthomonas campestris*)

الذبول البكتري للبطاطة

واصابة اللهانة والقرنبيط ببكتيريا

(*Phoma betae*)

(*Septoria avenae*)

ومقاومة الشوفان للاصابة بالتبقع السبتيوري

ومقاومة البطاطة للذبول الفيوزاري

(*Fusarium oxysporum* f.sp.*Lycopersici*)

...(Ustilago and Tilletia spp.)

ومقاومة الحنطة لامراض التعفن

كما اشار (Andreae, 1971) بأن اضافة كميات عالية من P و K تزيد من قدرة الشعير لمقاومة الاصابة بمرض البياض الدقيقي وامراض الصدأ . وبين (Bains and Jhooty, 1978) بأن الاضافات من الـ N والمتبوعة بكميات عالية من الـ P وكميات قليلة من الـ K قد أدت الى زيادة مقاومة البطيخ لمرض البياض الزغبي المتسبب من (*Pseudoperonospora cubensis*) . في حين ان الاضافات العادية او تخفيف الحلول المغذي الى $\frac{1}{5}$ عما كان عليه أدت الى زيادة شدة الاصابة بهذا المرض .

كما لوحظت نتائج مغايرة تماماً حيث وجد ان التغذية الجيدة قد أدت الى زيادة الاصابة بامراض الصدأ وكذلك بامراض البياض الدقيقي المتسببة من (*Erysiphaceae*) وزيادة انتشار مرض اللفحة النارية المتسبب عن الاصابة (*Erwinia amylovora*) على التفاح واصابة البطاطة بالفطر (*Cladosporium*) .

كما اورد (Schäufele, 1978) ان المن (*Myzus persicae*) الذي يصيب الخوخ يفضل الهجرة الى نباتات البنجر المغذاة بصورة كافية من العناصر الغذائية وذات المحتوى العالي من السكريات والمركبات النتروجينية . اما فيما يخص الحشرات المفترسة فلا زالت الآراء متضاربة بهذا الخصوص حيث وجد ان التغذية قد تزيد او قد تقلل من شدة الاصابة . فمثلاً وجد ان النتروجين قد يزيد من شدة الاصابة او قد يقللها . كما تبين ان كثيراً من الاحياء المسببة للامراض يتوقف مدى انتشارها على النباتات على محتوى الاخيرة من السكريات

والاحماض الامينية والمعروف ان هذه المواد تزداد بزيادة اضافة السماد النتروجيني وتقل بانخفاض كمية البوتاسيوم المضافة . كما وجد ان زيادة اضافة عنصر الـ N تقلل من تكوين المركبات الفينولية والتي يكون لها تأثير سمي على المسببات المرضية وبالتالي تزيد امكانية اصابة النباتات بها .

3.6 - دور العناصر الغذائية الكبرى

(أ) تأثيرات النتروجين :

يلعب النتروجين الدور الأكثر أهمية من بين العناصر الغذائية الأخرى فيما يتعلق بدورها في مقاومة النباتات للأمراض والحشرات. فإضافة السماد النتروجيني فقط مع إهمال الأسمدة الأخرى تؤدي إلى زيادة تعرض النباتات للإصابة بالأمراض .

هذا وقد وجد (Scheffer and Hunte-Müller, 1974) أن رش الشعير الصيفي بعناصر (B, Mn and Zn) قد قلل الإصابة بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن (*Erysiphe graminis*) .

كما وجد (Hernando and Casado, 1975) أن إصابة الفراولة (الشليك) بالفطر (*Phytophthora fragariae*) المتسبب في تعفن قلب الفراولة قد ازدادت بزيادة اضافة الـ N في حين أن الإصابة قد انخفضت بزيادة اضافة الـ P, K . وبالنسبة للأمراض الفيروسية كان الاعتقاد سائداً بأن التغذية الجيدة تزيد من شدة الإصابة إلا أن كثيراً من النتائج قد أشارت إلى قلة الإصابة بها في حالة التغذية الملائمة . فقد ذكر (Leh, 1970) أن نباتات الجزر المصابة بالفيروس كان محتواها قليلاً من عناصر الـ N, P, K, Ca .

أما فيما يخص الإصابة بالحشرات والحيوانات فتشير الدراسات إلى نتائج عكسية حيث أن التغذية الجيدة قد شجعت الإصابة بها . فقد وجد أن الإصابة بالنياتودا وكذلك بالعناكب قد زادت بزيادة اضافة العناصر الغذائية كما أشارت الأبحاث إلى زيادة الإصابة بالحشرات الماصة مثل المن الذي يصيب الحنطة والبرازيليا والفاصوليا وأشجار الفاكهة والحمضيات . أما (Fleischel, 1967) فقد لاحظ نتائج مغايرة حيث وجد أن الإضافات العالية من

سماد التوماس فوسفات وكذلك الاسمدة البوتاسية قد قللت الإصابة بالمرض الذي يصيب الباقلاء . ولوحظ في الآونة الأخيرة زيادة انتشار الأمراض والآفات الضارة الأخرى وكان هذا بالطبع ناتج عن زيادة إضافة الاسمدة النتروجينية . كما أن زيادة السماد النتروجيني تكون مصحوبة بزيادة النمو الخضري وطول مدته مما يؤدي إلى تأخير النضج كما أن ذلك يؤدي إلى زيادة المركبات النتروجينية الذائبة في داخل الخلايا مما يؤدي إلى زيادة ضغطها الأزموزي الأمر الذي يدفعها لسحب الماء من الخلايا المجاورة فتتملىء وتضغط على جدار الخلية فتصبح طرية ورقيقة وتعرض للتمزق مما يسهل اختراق الفطريات والبكتريا للخلايا مما يزيد من شدة الإصابة ويسهل من زيادة انتشار الأمراض وتكاثرها . وقد وجد أنه بزيادة إضافة السماد النتروجيني تزداد شدة الإصابة بأمراض التفحم والصدأ والبياض الدقيقي للحنطة ولكن بطبيعة الحال كان هناك تفاوت في شدة الإصابة حسب الأصناف . كما أن شدة الإصابة قد تناسب طردياً مع زيادة تجمع المركبات النتروجينية غير البروتينية مثل الـ *Agmatine*, *Putrescine* و *Asparagine* . فقد لاحظ (Talibudeen et al., 1977) أن زيادة النسبة $\frac{N}{K}$ قد أدت إلى زيادة إصابة الحنطة بصدأ الساق والأوراق وكذلك الإصابة بأمراض التفحم ومرض تبقع الأوراق المتسبب عن الفطر (*Cercospora* spp.) . هذا ولقد أشار كل من (Baule, 1975) ، (Kiraly, 1964) أن زيادة إضافة السماد النتروجيني يكون لها تأثير سلبي على محتوى النباتات من المركبات الفينولية الأمر الذي يؤدي إلى زيادة تعرضها للإصابة بالأمراض وقد أكد ذلك أيضاً ما نشر من قبل معهد البوتاسيوم الدولي (Intern. Potash Inst., 1976) تحت عنوان « استعمال السماد وصحة النبات » "Fertilizer and plant health" .

هذا وأوضح (Perrenoud, 1977) أن التوازن بين K,N وليس كميتها في النبات هي العامل المهم في مدى إصابة النبات بالأمراض أو مقاومته لها . وفيما يلي نورد بعض الأمثلة لإصابة النباتات بالأمراض والمتسببة عن زيادة التسميد بالنتروجين .

لقد لوحظ زيادة إصابة التبغ ، الخيار ، الباقلاء ، اللهاة والقرنابيط بمرض تبقع الأوراق المتسبب عن الإصابة ببكتريا (*Pseudomonas* spp.) والبطاطة بأنواع البكتيريا (*Erwinia* spp.) والعنب وأنواع البنجر بالبياض الزغبي المتسبب عن (*Peronosporaceae*) والحنطة وأشجار الفاكهة بمرض البياض الدقيقي (*Erysiphaceae*) والتفاح بمرض الجرب (*Venturia inaequalis*) والحنطة بمرض التبقع السبتوري (*Septoria nodorum*) .

وكذلك اصابة العنب بمرض العفن البني (*Botrytis cinera*) واصابة الشليك (الفراولة) بمرض العفن البني (*Botrytis*) والطماطة والقطن بالذبول الفرتسليومي (*Verticillium spp*) والتبغ والطماطة بمرض اللفحة المبكرة (*Alternaria*) وامراض الصدا في الحنطة (*Puccinia spp.*, *Uromyces spp.*) وكذلك الرز بالفطر (*Rhizoctonia solani*). كما أشار (Darwinkel, 1980a) الى ان زيادة السماد النتروجيني والتبكير في اضافة الدفعة الثانية منه قد أدت الى زيادة اصابة الحنطة بالصدا المخطط (*Puccinia striiformis*) بشدة وأدى الى تقليل الحاصل بحوالي 50%.

وكذلك وجد نفس الباحث ان اضافة جميع السماد النتروجيني دفعة واحدة قد سهلت اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي (*Erysiphe graminis*). في حين ان تجزئة السماد النتروجيني قد قللت من الزيادة المفرطة في النموات الخضرية (تحديد النمو) والذي انعكس في تقليل اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي. وقد بين (Darwinkel, 1980b) أن التأثير يكون افضل كلما تأخر موعد اضافة الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني للحنطة وقلت اصابة النباتات بمرض البياض الدقيقي. كما بين (Atkinson, 1980) انه كلما زادت النسبة $\frac{N}{K}$ كلما أدى الى تأخر نضج التفاح وكلما زادت شدة الاصابة بمرض الانثركنوز المتسبب عن الفطر (*Gloeosporium*).

غير أن عدداً آخر من الباحثين قد توصل الى نتائج مغايرة لذلك فقد اشاروا الى رفع قدرة النباتات لمقاومة الاصابة بالامراض نتيجة اضافة السماد النتروجيني. فعلى سبيل المثال أشار (Kruger, 1970) الى مقاومة التبغ لمرض البياض الزغبي والبزاليا لمرض البياض الدقيقي والذرة الصفراء لمرض تعفن الساق والمتسبب عن الفطر (*Diplodia zeae*) والكتان والبطيخ لمرض الذبول الفيوزاري المتسبب عن الفطر (*Fusarium*) وكذلك انخفاض اصابة الحنطة بمرض تكسر الساق المتسبب عن (*Cercospora horipotrichoides*).

كما وجد (Roorda Van Eysinga, 1966) تقليل اصابة الطماطة بمرض اللفحة المتأخرة المتسبب عن (*Phytophthora infestans*). اما بالنسبة للامراض الفيروسية فانه يمكن القول بشكل عام زيادة شدة الاصابة بها بزيادة اضافة الاسمدة النتروجينية غير انه وجد في حالة الفيروس الذي يسبب التبقع البرونزي في الطماطة وكذلك الفيروسات التي تصيب البطاطة قد انخفضت بزيادة اضافة الـ N وقد عمل (Fuchs and Grossmann, 1972) حدوث منافسة بين

الفيروس والنبات على البروتين . في حين لاحظ (Olsen and Koehler, 1968) زيادة اصابة الشعير بفيروس التقزم الاصفر (Yellow Dwarf Virus) والذي يؤدي الى انخفاض الانتاجية علاوة على جعل الحبوب رفيعة .

ومما تجدر الاشارة اليه ان نوع السماد النتروجيني يلعب دوراً مهماً في مدى مقاومة النباتات او اصابتها بالامراض او الحشرات والذي قد يعود لتأثيراته الفسيولوجية المختلفة على التفاعلات الايضية النباتات مثل رش النباتات باليوريا والتي قد تجعل الهرمونات التابعة للمسبب المرضي بشكل غير فعال .

وبالنسبة لعلاقة النتروجين بالحشرات فإنه يمكن القول بشكل عام أن زيادة اضافة السماد النتروجيني تزيد من اصابة النباتات بالحشرات المفترسة وتقلل من اصابتها بالحشرات الماصة (Baule, 1969, 1975) .

(ب) تأثيرات البوتاسيوم : تزداد قدرة النباتات لمقاومة الاصابة بالامراض وخاصة بالفطريات والبكتيريا بزيادة البوتاسيوم (Perrenoud, 1977) . فعلى سبيل المثال أشار (Jordan et al., 1966) ان اصابة الحشائش بالفطريات قد ازدادت في حالة نقص البوتاسيوم .

واوضحت العديد من المراجع أن زيادة اضافة السماد النتروجيني تؤدي الى زيادة نسبة $\frac{N}{K}$ مما يؤدي الى زيادة اصابة النباتات بالمسببات المرضية نتيجة لزيادة الاحماض الامينية الذائبة في هذه الحالة (Trolldenier, 1967) .

كما ذكر (Marschner, 1969) أن زيادة المركبات النتروجينية في حالة نقص عناصر (K, P, S) لنبات القمح العسلي أدت الى زيادة شدة الاصابة بالـ (Anasa tristis) . كما اوضح (Munson, 1970) ان زيادة النسبة $\frac{N}{K}$ أدت الى زيادة الاصابة بمرض الصدأ في الاوراق والساق واستطرد قائلاً انه في هذه الحالة يزداد تجمع الاميدات مثل Asparagine, Agmatine, Putrescine والتي من شأنها تسهيل مهاجمة الطفيلي للنباتات ، كما أن الاميدات والاحماض الامينية الذائبة تسهل على الطفيلي استغلالها لصالحه . كما اورد (Chaboussou, 1972) انه عندما كانت النسبة $\frac{N}{K}$ بحدود 2 انخفضت اصابة التفاح بمرض الجرب بعكس الحال عندما كانت النسبة $\frac{N}{K}$ 2.53 .

هذا وقد فسر (1972, Fuchs and Grossmann) و (1977 Perrenoud)

وغيرهم من الباحثين دور البوتاسيوم الجيد في رفع كفاءة النباتات لمقاومة الإصابة بالأمراض والآفات الضارة الأخرى لدوره في تنشيط العديد من الانزيمات (حالياً هناك أكثر من 60 انزيمياً) يعتقد ان للبوتاسيوم دور في فعاليتها وكذلك دوره في بناء البروتين والكاربوهيدرات ولاشك ان هذه المواد تزود النبات بمواده الأولية اللازمة لتفاعلاته الايضية مما يجعله أكثر قدرة على مقاومة الأمراض والآفات الضارة . كما ان نقص البوتاسيوم يؤدي الى رقة الجدار الخلوي وبالتالي يكون من السهل اختراق طبقة البشرة (Epidermis) من قبل الطفيليات النباتية .
ففي حالة زيادة اضافة السماد البوتاسي لوحظ زيادة قدرة النباتات لمقاومة المسببات المرضية فعلى سبيل المثال :

زيادة مقاومة البطاطة لبكتريا	(Pseudomonas) واللفنة والقرنابط
والشلفم (اللفت) لبكتريا	(Xanthomonas) واجت لمرض
الذبول المتسبب عن بكتريا	(Corynebacterium insidiosum)
والبطاطا بمرض الجرب وال	(Phytophthora spp.) وامراض التعفن
والذبول الفيوزاري	

وكذلك قلة اصابة النباتات بأمراض البياض الزغبي والدقيقي ومنها

(Erysiphe graminis) .

والجزر والمشمش بالتعفن البني المتسبب عن	(Sclerotinia spp.)
والحنطة والشوفان بالتبقع السبتيوري	(Septoria nodorum)
والعنب والفاصوليا والبزاليا والبطاطا بالفطر	(Botrytis spp.)
والطماطة بالذبول الفرثسيولي	(Verticillium)
والرز بالفطر	(Helminthosporium spp.) والتعفن الفيوزاري للبطاطة .

وكذلك التعفن الفيوزاري على كل من اللفنة والقرنابط والطماطة والقطن والكتان والبرسيم والرقعي والبطيخ .

والبطاطة والرز بال	(Rhizoctinia solani) وكذلك أمراض
الصدأ المتسببة عن	(Puccinia spp.) على الحنطة .

وقد اشار (1967 Trollenier) ان التأثير يكون افضل كلما زاد البوتاسيوم مقارنة بال P ، N .

كما إن اصابة الحنطة بمرض التبقع البني (Septoria nodorum) تقل بزيادة اضافة السماد البوتاسي . كما اشارت الدراسات أن تبقع اوراق فستق الحقل تقل بزيادة اضافة البوتاسيوم .

وقد لاحظ (Meyer 1970) ان زيادة اضافة البوتاسيوم المصاحبة بزيادة اضافة النتروجين قد أدت الى تقليل شدة اصابة الحنطة بمرض الذبول المتسبب عن الفطر (*Fusarium culmorum*).

وكذلك اوضح (Quelhas Dos Santos, 1979) ان امراض الفيروس التي تصيب اوراق البطاطا قد انخفضت بزيادة اضافة السماد البوتاسي . كما ان الاصابة بالحنشرات قد انخفضت بزيادة الاضافات من الاسمدة البوتاسية والتي حسب رأي (Finck, 1970) قد تكون بسبب زيادة ثبات الجدار الخلوي والى قلة تكوين السكريات .

وطبقاً لما ذكره (Schäufele, 1978) فإن زيادة اضافة البوتاسيوم قد قللت اصابة البنجر السكري بمرض الفيروس المسبب للاصفار .

بينما لوحظ ان زيادة اضافة البوتاسيوم ادت الى زيادة شدة اصابة الطماطة بالعنكبوت الاحمر (*Tetranychus spp.*) اما اصابة الكتان بالترس (*Thrips*) (Lini) فقد انخفضت . اما (Trolldenier, 1967) فأوضح ان نقص البوتاسيوم قد زاد من اصابة الذرة الصفراء بحوالي 4 مرات وطبقاً لما رواه الباحثة نفسه فإن يرقات (*Lema melanopus*) قد افترست فقط النباتات التي كانت تعاني من نقص البوتاسيوم .

وكذلك حصلت على نتائج مماثلة في حالة المن الذي يصيب الخوخ والتفاح . كما تبين أن اصابة البنجر السكري بالنياتودا (*Heterodera scschachtii*) قد قلت بزيادة الـ K .

وبما تجدر الاشارة اليه ان الاسمدة البوتاسية المحتوية على الكلوريد كان تأثيرها افضل في رفع مقاومة النباتات مقارنة بالاسمدة البوتاسية الكبريتية فعلى سبيل المثال انخفضت الاصابة بجرب البطاطا المتسبب عن الاصابة (*Streptomyces*) (*scabies*) والتعفن البني لثمار المشمش المتسبب عن الفطر (*Mohilia*) كذلك امراض البياض الدقيقي بالاضافة الى تعفن ساق الذرة الصفراء المتسبب عن الفطر (*Gibberella spp.*) .

وللحصول على تفاصيل دقيقة لعلاقة البوتاسيوم بالامراض النباتية والحشرية ينصح بالرجوع الى (perrenoud, 1977) .

(ج) تأثيرات الفسفور

بالرغم من أن للفسفور دوراً مهماً في بناء الاحماض النووية ومركبات الطاقة ولوظائفه المهمة في التفاعلات الأيضية للنبات إلا أن دوره في مقاومة النباتات أو إصابتها بالأمراض وبالأفات الضارة لا يزال مجهولاً . ومع ذلك فإن جميع الدلائل والمعلومات القليلة المستنبطة تشير بأن له دوراً معاكساً للنتروجين ومماثلاً للبوتاسيوم . وبوجه عام يمكن القول انه يرفع كفاءة النباتات في مقاومة مسببات المرضية .

فقد وجد كالبوتاسيوم يزيد من صلابة وتقوية الانسجة بيد أن الكميات الزائدة من الفسفور تسبب التبكير في نضج محصول الحنطة مما يقلل من محتواه من اللكتين .

كما أشارت بعض المراجع ان اضافة الفسفور قد قللت اصابة التبغ بمرض التبغ المتسبب عن الاصابة ببكتريا (*Pseudomonas tabaci*) والحنطة بمرض تعفن الجذور المتسبب عن الفطر (*Pythium root rot*) والبطاطا بمرض اللفحة المتأخرة المتسبب عن الاصابة بالـ (*Phytophthora infestans*) (Borys, 1966) وكذلك قلت اصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن (*Erysiphe graminis*) والذرة الصفراء بمرض تعفن الساق والجذور المتسبب عن الاصابة بالفطر (*Gibberella shoot and root rot*) والبنجر بمرض التعفن الطري المتسبب عن الفطر (*phoma betae*) والفاصوليا بمرض التعفن البني (*fabae*) (*Botrytis*) والبرسيم بمرض الذبول الفيوزاري (*Fusarium spp.*) وكذلك الطماطة بمرض الذبول الفيوزاري والحنطة بأمراض الصدأ (*Puccinia spp.*) واللحانة والقرنابيط بمرض التعفن الاسود (*Xanthomonas campestris*) والجت بمرض التبغ الورقي (*Pseudopeziza medicaginis*) والطماطة بمرض اللفحة المبكرة (*Alternaria solani*) .

هذا وقد اشار (Kaila and Hänninen, 1961) أن اضافة الفوسفات في الحريف أدت الى تقليل الاصابة بالأمراض الفطرية في الشليم كما اورد (Herlihy, 1969, and Carroll) أن اصابة البطاطة بمرض التبغ الرمادي (Grey speck disease) المتسبب عن (*Alternaria solani* Sor.) قد انخفضت بشكل ملحوظ . كما ان اصابة الحنطة بمرض التفحم السائب كان شديداً في حالة نقص عنصر الفسفور .

أما (1978, Schauffele) فقد أوضح ان اصابة البنجر السكري بمرض تعفن الجذور المتسبب عن الفطر (*Pythium spp.*) قد انخفضت بشكل كبير عند العناية بالسجاد الفسفاقي .

غير ان عددا من الباحثين قد حصل على نتائج مغايرة وأن اضافة الفوسفات تزيد من امكانية النباتات للاصابة بالمسببات المرضية . فقد ذكر ان نقص الفسفور قد قلل الاصابة بمرض التعفن الطري البطاطا المتسبب عن بكتيريا (*Erwinia carotovora*) والقرنبيط واللفانة بمرض الجذر الصولجاني المتسبب عن (*Plasmodiophora brassicae*) والتبغ بفطر (*Phytophthora nicotiana*) والرز بمرض تبقع الاوراق (*Helminthosporium*) .

هذا وقد وجد (1972, Marx) ان اضافة الفسفور تشجع تكوين المضادات الحيوية بواسطة المايكورايزا مما يرفع من كفاءة النباتات لمقاومة المسببات المرضية وبالنسبة لدور الفسفور وعلاقته بالامراض الفيروسية فإن الصورة اوضح من دوره بالنسبة للامراض الفطرية والبكتيرية حيث ان عنصر الفسفور يعتبر حجر الاساس في تكوين الاحماض النووية والتي تعتبر اساسية لتضاعف الفيروسات وعلى هذا الاساس فإن اضافة الفسفور تزيد من امكانية تزايد الفيروس وبالتالي تزيد من شدة الاصابة وبمساعدة النتروجين الذي يعتبر ضروريا لبناء الفيروس .

وبما تجدر الاشارة اليه ان نقص الفسفور أو زيادته زادت من انتشار المن ويحصل بمشاركة العناصر الغذائية الاخرى . غير انه قد وجد ان نقص الفسفور قد قلل من تكاثر المن (*Myzus persicae*) في حين ادى الى زيادة شدة الاصابة في البنجر السكري .

وبوجه عام يمكن القول بالنسبة لتأثير الفسفور على الحشرات فلا تزال النتائج متباينة ومتضاربة وتحتاج الى المزيد من الدراسات قبل اعطاء توصية في ذلك .

(د) تأثيرات الكالسيوم

يؤثر الكالسيوم على الامراض والحشرات بالدرجة الاولى لتأثيره المباشر على الـ pH من ناحية وكذلك من خلال تأثيره الكاوي من ناحية اخرى . فقد لوحظ زيادة الاصابة بمرض الجذر الصولجاني في اللفانة والقرنبيط المتسبب عن (*Plasmodiophora brassicae*) في الـ pH الحامضي . بينما ازدادت امراض البياض الدقيقي تحت الظروف القاعدية .

وبما تجدر الإشارة اليه أن التأثير لا يعود بمجد ذاته الى الـ pH ولكن نتيجة لتأثير الـ pH على جاهزية العناصر الغذائية الضرورية للنباتات . كما وجد ان اصابة التبغ ببكتريا (*Pseudomonas tabaci*) قد انخفضت عند اضافة كميات عالية من الكالسيوم وحدث العكس في حالة البطاطا حيث اصبحت درنتها بشدة بمرض الجرب .

وبوجه عام فقد أشارت بعض الدراسات الى ان الاضافات المتزايدة من الكالسيوم قد زادت من قدرة النباتات لمقاومة امراض فطرية عديدة نذكر منها قلة اصابة الطماطة بمرض الذبول الفرتسيولي والفيوزارمي والمتسببة عن (*Verticillium albo-atrum*) و (*Fusarium*) على التوالي . وامراض الصدا في الحنطة وكذلك اصابة الطماطة بمرض (*Sclerotium rolfsii*) التفاح بمرض التعفن المتسبب عن (*Gloeosporium*) (1975, Shear)

كذلك لوحظت قلة اصابة اللهانة والقرنابيط بمرض الجذر الصولجاني المتسبب عن (*Plamodiophora brassicae*) عندما زادت النسبة $\frac{Ca}{K}$ ، كما أشار (Marschner, 1969) ان فستق الحقل قد قلت نسبة اصابته بامراض التعفن المتسبب عن (*Pythium myriotylum*) وبمرض (*Rhizoctonia solani*) عند اضافة كميات عالية من الكالسيوم . هذا وقد فسر التأثير الايجابي للكالسيوم في رفع مقاومة النباتات للاصابة بالامراض او الحشرات لدوره المتميز في تقوية الجدار الخلوي من خلال دخوله في تكوين الصفيحة الوسطى (middle lamella) للجدار الخلوي مما يزيد من تكوين البكتين والذي يدخل فيه الكالسيوم على شكل بكتات الكالسيوم وهذا يصعب من امكانية اختراق الطفيلي للجدار الخلوي . كما ان وجود الكالسيوم بشكل بكتات الكالسيوم في الجدار الخلوي يقلل من تدمره بفعل الانزيمات وكذلك فانه يقلل من وجود الاحماض الامينية الحرة علاوة على دور الكالسيوم في تشجيع الانزيمات المسؤولة عن تكوين البكتين . وبناء على ذلك فان الكالسيوم يرفع من كفاءة النباتات لمقاومة الامراض الفيروسية كما انه قد يمنعها تماماً .

وبينما أشارت الدراسات ان اضافة الكالسيوم قد زادت من شدة اصابة التبغ بفيروس موزائيك التبغ الا أن اصابة الطماطة بفيروس التبغ البرونزي قد انخفضت وقد عزى ذلك الى تقليل انتشار الفيروس بسبب ميل الكالسيوم الى تكوين مركبات مع بروتوبلازم الخلايا . أما بالنسبة لتأثير الكالسيوم على الحشرات فلا تزال الصورة غير واضحة .

وفي الوقت الذي انخفضت فيه اصابة الحنطة بالمن (*Toxoptera graminum*) وكذلك العنكبوت الاحمر (*Tetranychus spp.*) باضافة الكالسيوم فان المن الذي يصيب الجت قد ازداد بزيادة الكالسيوم .

(هـ) تأثيرات المغنيسيوم
إن المعلومات والدراسات قليلة بهذا الخصوص ومتضاربة. فقد ذكر ان اصابة البطاطا بمرض اللفحة المتأخرة (*Phytophthora infestans*) و (*Rhizoctonia solani*) قد انخفضت عند اضافة كبريتات المغنيسيوم وكذلك قلت اصابة الحنطة باضافة كلوريد المغنيسيوم في حين ان اصابة العنب بالفيروسات المتسببة في الموت الموضعي للخلايا (النخر) (*necrosis*) قد ازدادت في حالة نقص المغنيسيوم او في حالة السمية به .

وأشار (scholl and Gehlker, 1973) ان اضافة المغنيسيوم قد قللت اصابة الطماطة بالعنكبوت الاحمر (*Tetranychus spp.*) والباقلء بالمن الاسود (*Aphis fabae*) والحمضيات بالمن (*Lepidosaphes beckii*) .

(و) تأثيرات الكبريت
لازالت المعلومات محدودة وقليلة عن دور الكبريت من حيث علاقته بالمسببات المرضية والآفات الضارة وغالبا ما تعود الى الكاتيون المرافق عند اضافة الاسمدة الكبريتية .

وذكر ان اصابة نباتات العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنابيط بمرض الجذر الصولجاني المتسبب عن (*Plasmiodiophora brassicae*) قد انخفض باضافة السماد الكبريتي .

كما لوحظ ان نقص الكبريت قلل من انتشار فيروس موزاييك التبغ في حين وجد العكس فإن اضافة الكبريت كما هو الحال عند اضافة النتروجين تؤدي الى زيادة اصابة البطاطا بالفيروس . كما وجد أن اضافة مسحوق الكبريت قد قلل اصابة البطاطا بمرض الجرب (*Streptomyces scabies*) . كما لوحظ ان اضافة السماد الكبريتي قد قلل من اصابة الطماطة والخردل بالعنكبوت الاحمر (*Tetranychus spp.*) في حين ازدادت شدة الاصابة به على الخيار .

4.6 - دور العناصر الغذائية الصغرى :

ازداد الاهتمام في الآونة الأخيرة لدراسة العلاقة بين العناصر الغذائية الصغرى سواء منفردة أو مجتمعة وبين المسببات المرضية وخاصة فيما يتعلق بالأمراض الفطرية والبكتيرية والفيروسية وبدرجة أقل بالنسبة للآفات الضارة . وإن الاتجاه المتبع هو لمعرفة التأثير السمي لهذه العناصر الصغرى على المسببات المرضية وليس بالطبع التأثير السمي الذي تحدثه هذه العناصر على النباتات .

ويعتبر (Katalymov, 1969) و (Fuchs and Grossmann, 1972) من العلماء الرائدة في هذا المجال . وطبقا للدراسات التي قام بها هؤلاء الباحثون على أمراض التفحم وبغض أمراض الصدأ على الحنطة ومرض التخطيط (Helminthosporium) ظهر أن العناصر الغذائية الصغرى تلعب دورا مهما في رفع قدرة النباتات لمقاومة هذه الأمراض والذي ينعكس إيجابيا في زيادة الحاصل وتحسين نوعيته . وهذا ما أكدته التجارب المدعومة بالتحليل النسيجي لهذه النباتات حيث لوحظ أن الشوفان والشيلم والشعير قد ارتفعت مقاومتها لهذه الأمراض بحوالي 18 مرة . كما وجد أن الزنك قد منع كليا من إصابة الشيلم بمرض تفحم الساق . وهذه النتائج قد أكدت من قبل (Trolldenier, 1967) بالرغم من إشارته بزيادة المقاومة ضد أمراض البياض الدقيقي والتفحم السائب والمغطى عندما كان هناك نقصا بعناصر (B, Co, Cu, Fe, Mo and Ni) .

وطبقا لما أشار إليه (Poljakov, 1970) فإن رش عباد الشمس بمحاليل 0.1% من املاح الـ (B, Co, Zn, Mn) قد قلل الإصابة بمرض التعفن الأبيض بحوالي 50% كما أدى إلى زيادة الحاصل .

وقد كتب (Kazuo Yamafuji, 1964) في كتابه الموسوم « العوامل الغذائية في تكوين الفيروس » "Nutritional factors in virus formation" بأن الحديد والنحاس وكذلك بعض العناصر الأخرى توجه نشاط إنزيم الـ Catalase بالنسبة للفيروسات وهذا يعتبر مهما حيث إن بناء الفيروس وزيادته مرتبطة ارتباطا وثيقا بتجمع الـ (Peroxides) . وطبقا لنفس الباحث تلعب أيضا عناصر الـ Mn, Zn, Co دورا مهما في زيادة الفيروس . كذلك أشار (Schütte, 1964) بأن نقص المنغنيز قد أدى إلى زيادة شدة الإصابة بفيروس موزاييك التبغ . وإن نقص البورون أدى أيضا إلى زيادة الإصابة بفيروس موزاييك التبغ وبفيروس الاصفرار على البنجر السكري . وقد أوضح (Tsyplenkov, 1974) أن رش

الطماطة بمحلول 0.1% من حامض البوريك قد قلل الإصابة بفيروس موزائيك التبغ وأدى الى زيادة الحاصل . هذا وقد وجد (Tsyplenkov and Fomin, 1974) ان رش الطماطة بمحلول 0.05% حامض البوريك و 0.01% من محلول كبريتات الكوبلت قد قللت الإصابة بفيروس موزائيك التبغ بمقدار $\frac{2}{3}$. واستطاع (Wallace, 1962) ان يثبت أنه باضافة الحديد الخليي انخفضت الإصابة بفيروسات النباتات (والتي تشبه الى حد كبير اعراض نقص عنصر الحديد) او تلاشت نهائيا . وأشار نفس الباحث بأن الزنك يلعب دورا مماثلا كما في حالة الحديد . كما بين (Carr and Stoddart, 1963) أن الاضافات المتزايدة من الزنك الى البرسيم الابيض قد قللت الاعراض المتسببة عن فيروس اخضرار الازهار . وقد وجد (Millikan and Pickett, 1963) . إن نسيج اوراق التفاح المصابة بالفيروس احتوت كمية اقل من الزنك مقارنة بتسييج الاوراق السليمة . كما لوحظ ان الخوخ والتبغ المعرضان للإصابة بالفيروسات قد انخفضت اصابتها نتيجة اضافة الاسمدة الخاصة بالزنك .

غير انه قد لوحظ ان اضافة الزنك قد زادت من شدة الإصابة بفيروس موزائيك التبغ وان إصابة النباتات بهذا الفيروس كانت تزيد من معاناة النباتات . لاطهار اعراض نقص عنصر الزنك ، بينما ارتفعت كفاءة الطماطة في مقاومة الفيروسات باضافة العناصر الغذائية الصغرى .

ومما تجدر الاشارة اليه ان الصورة لازالت غير واضحة تماما فيما يخص العناصر الغذائية الصغرى وعلاقتها بالامراض الفيروسية حيث نجد في المراجع نتائج متباينة فعلى سبيل المثال هناك اشارات بأن نقص المولبدنم او زيادته قد تقلل من الإصابة بفيروس موزائيك التبغ . كما وجد ان استخدام كميات مختلفة من Fe و Mn و Zn و Co لم يظهر لها اي تأثير على العنكبوت الاحمر .

كما ان دراسات اخرى قد بينت ان رش الخمضيات بمحاليل املاح العناصر الغذائية الصغرى قد رفعت من شدة اصابتها بالمرض . وسيشرح فيما يلي دور كل عنصر من العناصر الغذائية الصغرى وسيكتفى بذكر التأثيرات الايجابية لكل عنصر :

(أ) تأثيرات البورون

أشارت الدراسات بأن الاضافات المتزايدة من البورون قد قللت اصابة اللفت السويدي بمرض الجذر الصولجاني (*Plasmodiophora brassicae*) كما وجد ان اضافة كميات قليلة من البورون قد أدت الى الشفاء من الامراض التي اصببت بها وهي اصابة الخنطة بمرض الصدا المخطط وصدا الورقة (*Puccinia recindita striliformis*, P.) واصابة عباد الشمس بالبياض الدقيقي المتسبب عن الفطر (*Erysiphe cichoracearum*) واصابة الشعير بالبياض الدقيقي المتسبب عن الفطر (*Erysiphe graminis*) (ولكن لم يكن للبورون اي تأثير في مقاومة نباتات الفاصوليا ، الخيار، الخنطة والشوفان لمرض البياض الدقيقي السابق الذكر) واصابة البنجر بمرض التعفن الطري المتسبب عن الفطر (*Phoma betae*) والقرنابيط بمرض العفن البني (*Botrytis*) وكذلك اصابة عباد الشمس بامراض الصدا وكثير من الامراض البكتيرية . وطبقا لما أورده (Schütte, 1967) في دراساته فان نقص البورون قد زاد من اصابة الخنطة بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن الفطر (*Erysiphe graminis*) .

هذا وقد أشار (Primavesi, 1969) ان نقص البورون قد أدى الى زيادة اصابة الرقي والبطيخ بمرض البياض الدقيقي اي كما وجد في حالة نقص البوتاسيوم . وان اصابة الطماطة بمرض الذبول الفيوزاري قد انخفضت باضافة كميات معتدلة من البورون . ولاحظ (Judel and Kurten, 1962) ان اضافة البورون قد قللت من اصابة البطاطا بمرض الجرب والذي عزى الى تحسين بناء البشرة ونضج القشرة كما أدى الى تقليل اصابة البطاطا بمرض التعفن الجاف والتعفن البني (Combrink et al., 1975) وتوصل (Gerath and, 1971, pett) بأن اضافة 1-1.5 كغم B للهكتار قد منع اصابة البطاطا بمرض التعفن الطري .

هذا وقد اوضح (Antonova, 1975) بأن معامل التوزيع بالنسبة لنبات اللهانة والقرنابيط المصابة بمرض الجذر الصولجاني (*Plasmodiophora brassicae*) كان يتراوح من 0.52 الى 5.47 في حين كان معامل التوزيع في حالة النباتات السليمة من 0.52 الى 0.76 .

كما ذكر أن نقص البورون او زيادته قد أدت الى اصابة العنب بالعنكبوت (*Panonychus ulmi*) ويعزى (Rajaratnam and Hock, 1975) ان مناعة النباتات بسبب اضافة البورون يعود الى تكون صبغة الانثوسيانين والتي من شأنها تقليل اصابة النباتات بالامراض الفيروسية والفطرية والحشرات. كما ذكر ان نقص البورون قد أدى الى زيادة شدة اصابة اشجار جوز الهند بالعنكبوت الاحمر (*Tetranychus piercei*).

(ب) تأثيرات النحاس
أشارت الدراسات بأن التغذية الكافية من النحاس قد قللت إصابة الحنطة بمرض البياض الدقيقي (*Erysiphe graminis*) (Graham, 1980a) وكذلك بمرض صندأ الورقة (*Puccinia recondita*) ومرض التفحم السائب (*Ustilago tritici*) (Trollenier, 1967).

ونفس الشيء قد وجد حيث قلت اصابة البطاطة بامراض اللفحة المتأخرة (*Phytophthora infestans*) والتعفن الطري (*Erwinia carotovora*) والجرب (*Streptomyces scabies*) والأمراض البكتيرية المسببة للتعفن في اثناء خزن محصول البطاطا.

كما تبين أن اصابة العنب بمرض البياض الزغبي (*Peronosporaceae*) ومرض البياض الدقيقي (*Erysiphe cichoracearum*) على التبغ ومرض التخطيط (*Helminthosporium oryzae*) وكذلك كثيراً من الامراض التي تصيب اوراق الخيار، الطماطة والخوخ فإنها تقل باضافة عنصر النحاس. فقد ذكر (Primavesi, 1973) بأن اضافة 3 كغم من CuSO_4 / هكتار المصحوبة بعملية الري قد أدت الى تقليل اصابة الرز بمرض الشرى (خناق الرقبة) (*Rotten neck*) المتسبب عن (*Pyricularia oryzae*) في ترب البرازيل ذات المحتوى القليل من النحاس.

وطبقاً لما أورده (Rahimi, 1972) في دراسته بأن نقص النحاس قد زاد من وجود الأمراض الفطرية في نباتات الطماطة وعباد الشمس والفلفل وقد يعو السبب في رفع كفاءة النباتات لمقاومة الامراض وخاصة الفطرية الى زيادة تكو اللكنين في الجدار الخلوي مما يصعب من عملية اختراق الفطريات لهذا الجدار الخلوي وأيضاً الى تأثيره في تكوين الفينولات وهذا ما أيده أيه (Graham, 1980a) في دراساته.

(ج) تأثيرات المنغيز

لقد أشار عدد من الباحثين بأن مرض جرب البطاطا المسحوقي (*Streptomyces scabies*) ينخفض بسبب السمية الناتجة من اضافة المنغيز (*Mortvedt et al.*, 1963) و (*McGregor and Wilson*, 1964). كما اوضح الباحثون بأن العوامل البيئية والتي من شأنها زيادة جاهزية المنغيز في التربة يعود اليها السبب في خفض الاصابة بمرض الجرب المسحوقي في نبات البطاطا. كما أشار (*Mudich*, 1967) بأن مرض اللفحة المتأخرة في البطاطا المتسبب عن الاصابة (*Phytophthora infestans*) ومرض التخطيط في نبات الرز المتسبب عن الاصابة (*Helminthosporium oryzae*) ومرض البياض الدقيقي المتسبب عن (*Erysiphe graminis*) وكذلك امراض الصدا (*Puccinia spp.*) ومرض التفحم السائب (*Ustilago tritici*) في الحنطة تقل باضافة المنغيز (*Trolldenier*, 1967).

هذا وقد تبين أن امراض التفحم في الشعير قد انخفضت بحوالي 33 مرة باضافة المنغيز. ووضح (*Novikova*, 1964) بأن مقاومة الحنطة الصيفية للصدأ البني وكذلك مقاومة الشعير لمرض البياض الدقيقي قد ازدادت في وجود المنغيز. كما تبين أنه بالرغم من زيادة السماد النتروجيني فإن اصابة الخردل قد انخفضت عند تسميد التربة بالاسمدة المحتوية على المنغيز في حين ان اضافة المنغيز رشا على اوراق النباتات لم يكن لها أي تأثير في تقليل الاصابة (*Zajonc*, 1971). وقد بين (*Zajonc et al.*, 1975) أن اضافة 60-90 كغم Mn في الهكتار قد منع كلياً اصابة الخردل بمرض البياض الدقيقي.

وعلى النقيض من ذلك فقد وجد أن نقص المنغيز او زيادته زادت من شدة اصابة الطماطة بمرض الذبول الفيوزاري. في حين ان اضافة المنغيز او اضافة البورون قد قللت اصابة الطماطة بمرض التبقع البني بمقدار 50%.

وكذلك اشارت الدراسات ان مقاومة الشوفان لالامراض البكتيرية التي تصيب الجذور قد ازدادت عند اضافة المنغيز بكمية كافية.

وطبقاً لما أشار اليه عدد كبير من الباحثين امثال (*Baule*, 1972) و (*Wenzel*, 1970a,b) فإن اصابة اشجار التنوب بالفطر الثاقب (*Fomes annosus*) والذي يسبب التعفن تزداد نتيجة التغذية غير الجيدة بعنصري المنغيز والحديد والتي تعزى الى قلة تكوين المركبات الفينولية

(Poly-hydroxyphenols) وكذلك قلة تكوين المركبات التربينية الدهنية (Terpenes) نتيجة لنقص هذين العنصرين . وقد اوضحوا ان المقاومة قد ازدادت من ضعف الى ضعفين عند اضافة المنغنيز بالنسبة لمعاملة المقارنة .

وقد اوضح (Baule, 1975) أن وجود كميات عالية من الكالسيوم ونتيجة لارتفاع درجة تفاعل التربة (pH) والتي من شأنها العمل على تثبيت المنغنيز والحديد وكذلك تأثيرهما في قلة امتصاص البوتاسيوم قد أدت الى خسائر تقدر بـ بلايين الماركات الالمانية نتيجة لاصابة اشجار التنوب بهذا المرض .

(د) تأثيرات الزنك

أشارت عدة دراسات الى زيادة مناعة الفاصوليا المتسببة عن البكتريا المسببة لمرض التبقع (*Xanthomonas phaseoli*) باضافة سماد الزنك وكذلك الى زيادة مقاومة البنجر واللفانة لمرض البياض الدقيقي المتسبب عن الاصابة (*Erysiphe polygoni*) والى رفع قدرة اللفانة القرنابيط. لمقاومة مرض الجذر الصولجاني (*Plasmodiophora brassicae*) وكذلك زيادة مقاومة الطماطة ضد مرض التبقع البني والى ارتفاع قدرة الخيار لمقاومة الامراض المتسببة عن الاصابة بالبكتريا مثل (*Pseudomonas Lacrymans*) والذرة الصفراء لمرض التفحم النائب المتسبب عن (*Ustilago zeae*) وامراض الصدأ في النجيليات ومرض اللبنة المتأخرة المتسببة عن (*Phytophthora infestans*) على البطاطا والطماطة عند اضافة الاسمدة المحتوية على الزنك . وقد بين (Yaroshenko, 1967) أن معالجة البذور باملاح الزنك قد أدت الى زيادة نشاط فعالية انزيم الـ Catalase والى زيادة محتوى البروتين وأيضاً الى زيادة التنفس في الشيلم وأدت بدورها الى تقليل الاصابة بمرض تفحم الساق . كما لوحظ زيادة شدة الاصابة في اشجار المطاط في حالة نقص الزنك بالمرض المتسبب عن الاصابة بالفطر (*Oidium heveae*) . كما اورد (Primavesi, 1969) أن اصابة الذرة الصفراء بحفار الساق قد انخفضت باضافة الزنك ووضح ان هذه الدودة تفضل دائماً النباتات ذات المحتوى المنخفض من الزنك .

كما أشار العالم نفسه ان الاصابة بالنيماتودا تقل باضافة كبريتات الزنك وإن نفس التأثير قد وجد عند اضافة كبريتات المنغنيز او موليبدات الامونيوم .

(هـ) تأثيرات المولبدنم

أشار (Mechmanov, 1967) ان رش نباتات القطن بمحاليل المولبدنم والزنك قد قللت اصابتها بمرض الذبول الفرتسيولي المتسبب عن الـ (*Verticillium*). وإن معاملة بذور الذرة الصفراء بمولبدات الامونيوم قد قللت الاصابة بمرض التفحم. كما ان مقاومة الجت للامراض قد ازدادت نتيجة لاضافة المولبدنم. و اضاف الباحث أن اصابة التبغ بمرض البياض الدقيقي المتسبب عن (*Erysiphe cichoracearum*) انخفضت كذلك نتيجة اضافة المولبدنم.

(و) تأثيرات الحديد

اوضح عدد من الدارسين ان اصابة النباتات بأمراض الصدأ قد انخفضت باضافة الحديد. كما أشارت هذه الدراسات ان علاج النباتات التي كانت تعاني من نقص الحديد قد تم وقضي على المن الذي اصاب اشجار الكريب فروت.

5.6- دور العناصر الاخرى

بالاضافة الى تأثيرات العناصر الغذائية الكبرى وكذلك العناصر الغذائية الصغرى فتبين أن للسيليكون دور مهم في رفع كفاءة النباتات في مقاومة عدد من المسببات المرضية. فقد اشار عدد من الباحثين إن اصابة النباتات بالفطريات المسببة لأمراض البياض الدقيقي ولأمراض الصدأ قد انخفضت باضافة السليكون أو بزيادة محتوى النباتات منه. وعلى ضوء بعض الدراسات مثل (Anonym, 1971) و (Thiagalingam, 1977) بأن السليكون يفضل خلايا البشرة حيث يترسب فيها وبالتالي فهو يمثل حاجز فيزيائي في عدم امكانية او صعوبة اختراق هذه الخلايا بواسطة الفطريات المسببة لهذه الامراض. كما اشارت الدراسات انه في حالة نقص البوتاسيوم فإن الصوديوم يزيد من مقاومة التبغ لمرض البياض الدقيقي (*Erysiphe cichoracearum*).

بالنسبة للكلوريد وجدت تأثيرات سلبية على المسببات المرضية في حالة تواجده بتركيز عالية.

كما وجدت تأثيرات ايجابية على مقاومة الطماطة لمرض التعفن ولأمراض الفايروس في حالة وجود اليود. كما اشير ان لايونات اليود تأثير ايجابي في مقاومة النباتات لأمراض الصدأ والبياض الدقيقي والنياتودا.

وطبقاً لما اشار اليه (Grover, 1967) بأن املاح الكوبلت قد قللت إصابة الحنطة بمرض صدأ الساق الاسود (*Puccinia graminis tritici*).

وفىما يخص العناصر الاخرى والتي منها الليثيوم ، النيكل ، الباريوم ، الكاديوم والسليسيوم فتشير الدراسات ان لها نوعاً من التأثيرات الايجابية في رفع قدرة النباتات لمقاومة الامراض والآفات الضارة الاخرى والتي يعتقد بأنها تعود الى تأثيراتها السمية على المسببات المرضية والحشرية غير أن استعمالها في الانتاج النباتي او استخداماتها في الزراعة تحتاج الى المزيد من الدراسة والعناية حيث ان التراكيز العالية منها تكون سامة للانسان والحيوان .

وما تجدر الاشارة اليه أن تأثير العناصر الغذائية وعلاقتها بمقاومة النباتات للامراض والآفات الضارة الاخرى يجب الا ينظر اليها بمنظار مجرد أنها تعتمد على النقص او الزيادة بالعنصر الغذائي المعين ولكن يجب ان تكون مرتبطة تماماً بالتغذية النباتية ككل ومدى علاقة كل ذلك بهذه المسببات .

كما نود أن نشير ان ماذكر من علاقات وتأثيرات لهذه العناصر الغذائية على المسببات المرضية والحشرية هي مجرد معلومات عامة ويجب الا تؤخذ على انها نهائية وتحتاج من العاملين المزيد من البحث والدراسة ويجب ان يكون ذلك مدعوماً بالتحاليل المختبرية المتطورة .

كما يجب ان يراعي ان اضافة المغذيات النباتية ليس فقط للحصول على أعلى حاصل بل الصحة العامة للنبات وكذلك مراعاة عدم تلوث البيئة ومراعاة صحة الانسان والحيوان الذي يتغذى على هذه المنتوجات النباتية .



العناصر المعدنية غير العضوية Inorganic mineral elements

1.7 - العناصر الغذائية الكبرى Macronutrients

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة وتشمل عناصر [H, O, C] وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات كبيرة وتشمل عناصر [S, Mg, Ca, K, P, N,] ويعبر عنها كنسبة مئوية أو بالمغم لكل غم من المادة الجافة وعادة يبلغ محتواها حوالي 0.1-6% من المادة الجافة (أي من 1-60 مغم/غم من المادة الجافة).

1.1.7 النيتروجين Nitrogen (N) (أ) فكرة عامة

النيتروجين عنصر غازي غير معدني ويعتبر من أهم العناصر الغذائية الضرورية للنبات بعد عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين. والنيتروجين واسع الانتشار في الطبيعة وهو يكون حوالي 79% من حجم الغلاف الجوي. وكان الرأي السائد في الماضي هو أن المصدر الأصلي لنيتروجين التربة هو الغلاف الجوي غير أن (1970, Delwiche) قد أشار إلى أن كمية كبيرة من النيتروجين توجد على شكل مثبت في قشرة الأرض (Lithosphere) في الصخور والمعادن والترسبات. وطبقاً لما ذكره. هذا العالم فإن الغلاف الجوي يحتوي على حوالي 3.8×10^{15} طن من النيتروجين في حين يحتوي الجزء اليابس من القشرة الأرضية ما يعادل 18×10^{15} طن. غير أن محتوى الترب الزراعية من النيتروجين هو قليل جداً ولا يتجاوز 0.1% إلى 0.5% ومن هذا الجزء الضئيل فإن المقدار الصالح منه للامتصاص قليل أيضاً. يوجد نيتروجين التربة على شكل نترات أو أمونيوم وهما الصورتان اللتان يمتصها النبات بدرجة أساسية. وفي الترب الخصبة قد يحتوي محلول التربة على 2-20 مليمول من النترات. وعادة بعد إضافة الاسمدة يبلغ محتوى محلول التربة

من النترات حوالي 20-30 مليمول . اما تركيز محلول التربة من النترات فقير ثابت وعرضة للتغير نتيجة لتغير فصول السنة ولتغير درجات الحرارة وكذلك نتيجة لنشاط أحياء التربة نفسها وكذلك حسب كمية الامطار الساقطة حيث تكون النترات عرضة لعملية الغسل (Leaching) ولذلك فهي تتجمع في طبقات التربة العليا في فترات الجفاف .

لقد وجد (Casper, 1975) إن جاهزية النترات تقل تحت المستويات المنخفضة من رطوبة التربة . وكذلك تكون النترات عرضة للتحويلات المستمرة سواء بالاختزال الى امونيا او الى النتروجين (N_2) والذي يتطاير ويفقد الى الجو بعملية نزع النتروجين (Denitrification) .

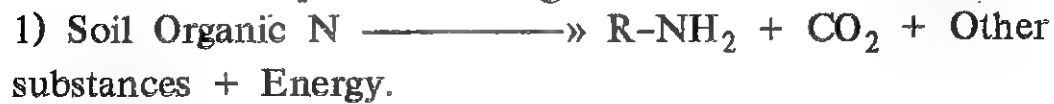
ولفهم كثير من الامور المتعلقة بعنصر النتروجين يفضل الرجوع الى دورة النتروجين في الطبيعة حيث ان النتروجين عنصر سريع الحركة مابين الغلاف الجوي والتربة والنبات والحيوان واحياء التربة .
والشكل (7-1) يوضح دورة النتروجين في الطبيعة .

(ب) عملية التعدين Mineralization

ان المصدر الاساس لنتروجين التربة هو المادة العضوية وكذلك احياء التربة الدقيقة التي تقوم بتثبيت النتروجين الجوي . وحيث ان النتروجين يمتص بالدرجة الاساس من محلول التربة بواسطة جذور النبات على شكل نترات وامونيوم ولذلك فإن نتروجين المادة العضوية يكون غير جاهز للامتصاص ويجب ان تحدث عملية معدنة بمعنى تحويل النتروجين العضوي الى نتروجين معدني . ان معدنة المركبات النتروجينية العضوية تتم على خطوتين :

(1) تحليل المادة العضوية الى احماض امينية والتي يطلق عليها (Aminization) أو (Proteolysis) .

(2) تحول الأحماض الامينية الى أمونيا ويطلق على هذه العملية (Ammonification) ويمكن توضيح الخطوتين كما يلي :



ويتضح من العمليتين تحرر الطاقة والتي تستهلك من قبل الكائنات الحية المجهرية التي تستخدم الكربون العضوي كمصدر للطاقة اي ان هذه الاحياء غير ذاتية التغذية (Heterotrophic).

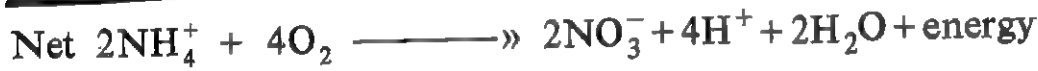
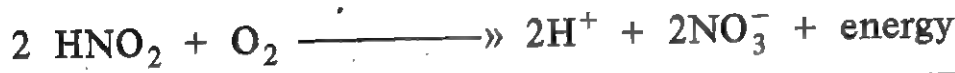
هذا وتعتمد عملية التعدين اي تحرر النتروجين غير العضوي من مركباته العضوية وتكون (NO_3^-, NH_4^+) على النسبة بين $\frac{N}{C}$ فكلما زادت هذه النسبة كلما كانت المادة العضوية غنية بالنتروجين كلما زادت كميات (NO_3^-, NH_4^+) المتحررة (Dijk, 1968; Van

ان كمية النتروجين الناتجة من عملية التعدين تتوقف على نوع التربة وكمية المادة العضوية ونسبة $\frac{N}{C}$ كما ذكر ودرجة الحرارة ونسبة الرطوبة وكذلك على الظروف المناخية . وبناء على ذلك ففي الوقت الذي لا تتجاوز فيه عملية التعدين في بعض المناطق او السنوات بضع كيلوغرامات بالهكتار نجدها قد تصل الى مايقارب من 100 كغم في مناطق اخرى تحت الظروف المثالية . فقد سجلت معدلات عالية لعملية التعدين تحت الظروف الدافئة والرطوبة والزراعة بالجت او البرسيم بينما كانت المعدلات منخفضة جداً في الفترات الحارة والباردة والزراعة بالنجليات كما يجب ان يلاحظ ان عملية التعدين قد تختلف من سنة الى اخرى ولهذا السبب فانه ليس غريباً بان التربة التي قد تجهزنا بمقدار 40 كغم N بالهكتار الواحد قد تجهزنا بضعف هذه الكمية في سنة اخرى (Vomel, 1966).

(جـ) النترة (النتجة او التأزت) Nitrification

الامونيا الناتجة من عملية الـ (Ammonification) اما ان تذوب في الماء متحولة الى هيدروكسيد الامونيوم NH_4OH « $NH_3 + H_2O$ والتي يمكن ان تمتص من محلول التربة على شكل ايونات الامونيوم (NH_4^+) او يمكن ان تتطاير الى الجو ثانية على صورة غاز الامونيا (NH_3) او ان يثبت الامونيوم بين صفائح الطين 1:2 مثل الـ (Illite) أو المونتموريللونيت (NH_4^+ Montmorillonite) أو ان تتحول الامونيا (NH_3) الى نيتريت (NO_2^-) بواسطة بكتريا النتروزوموناس (Nitrosomonas) ومن ثم تحول (NO_2^-) الى نترات (NO_3^-) بواسطة بكتريا النتروباكتري (Nitrobacter). ان اكسدة الامونيا (NH_3) الى (NO_3^-) يطلق عليها عملية النترة (النتجة او التأزت) (Nitrification).

ويذكر ان بكتيريا النترة هي بكتيريا ذاتية التغذية (Autotrophic) وتحد على الطاقة اللازمة لها من اكسدة الاملاح غير العضوية وهي بكتيريا هوائية ولذ فإن عملية النترة تكون معاقة في الترب الغدقة مثل حقول الرز . ويمكن توضيح عملية النترة كالآتي :



ويذكر ان عملية النترة تؤدي الى تحرر ايونات الهيدروجين مما يؤدي الى زيادة حموضة الوسط .

تشير بعض الدراسات الى ان كل الامونيا أو الامونيوم قد تتحول في غضون اسبوعين الى نترات . ولاشك ان العملية بحد ذاتها قد ينظر اليها على انها تكون ضارة من الناحية الاقتصادية وذلك لان صورة النترات قد تكون معرض بدرجة كبيرة لعمليات الفقد سواء بالغسل (Leaching) حيث تنزل النترات الى اعماق بعيداً عن متناول جذور النباتات وخاصة للمحاصيل ذات الجذور السطحي كالنباتات الحولية مثل النجيليات ومحاصيل الخضر أو قد تفقد نتيجة عملية نزع النتروجين من النترات (Denitrification) حيث يتطاير النتروجين الجزيئي (N_2) الى الهواء الجوي ويتم ذلك تحت الظروف الغدقة اللاهوائية مثل حقول الرز

وتعتبر عملية (Denitrification) من اهم مصادر فقد النتروجين والتي تقدر كميتها بحوالي 5 الى 50% من كمية الاسمدة النتروجينية المضافة . ولذلك فهناك اتجاه في الوقت الحاضر الى استخدام مواد معينة تسمى تجارياً بالـ (N-SERVE) والتي من شأنها تقليل او إيقاف عملية النترة كما ان هناك دراسات في الوقت الحاضر وخاصة في استراليا لايقاف عملية النترة نتيجة لتشجيع التربة بأشعة كام (-) او حتى لايقاف عملية نزع النتروجين (Denitrification) .

كذلك تستخدم مانعات النترة لابقاء محتوى المحاصيل من النترات واطناً وخاصة المحاصيل الورقية مثل السبانخ او محاصيل العلف التي يتغذى عليها الحيوان خوفاً من السمية التي تسببها النترات للانسان والحيوان . هذا ويرتأي عدد

من الباحثين ألا يزيد محتوى نباتات العلف من النترات عن 0.2% من المادة الجافة . فقد لوحظ ان التراكيز من 0.34 الى 0.2% كانت سامة للحيوانات وبالنسبة للانسان فقد بينت معظم القوانين في البلدان الصناعية ألا يزيد محتوى النترات عن 400 ملغم / كغم من المادة الجافة وبالنسبة للاطفال فان الحد المسموح به هو 250 ملغم NO_3 / كغم من المادة الجافة . وبالنسبة للانسان والنبات والحيوان فالحد المسموح به من الامونيا هو من 0.1 الى 0.3 ملغم NH_3 / م³ من الهواء الجوي (Bergmann, 1983).

(د) تثبيت النتروجين الجوي بيولوجياً

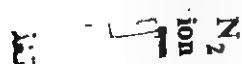
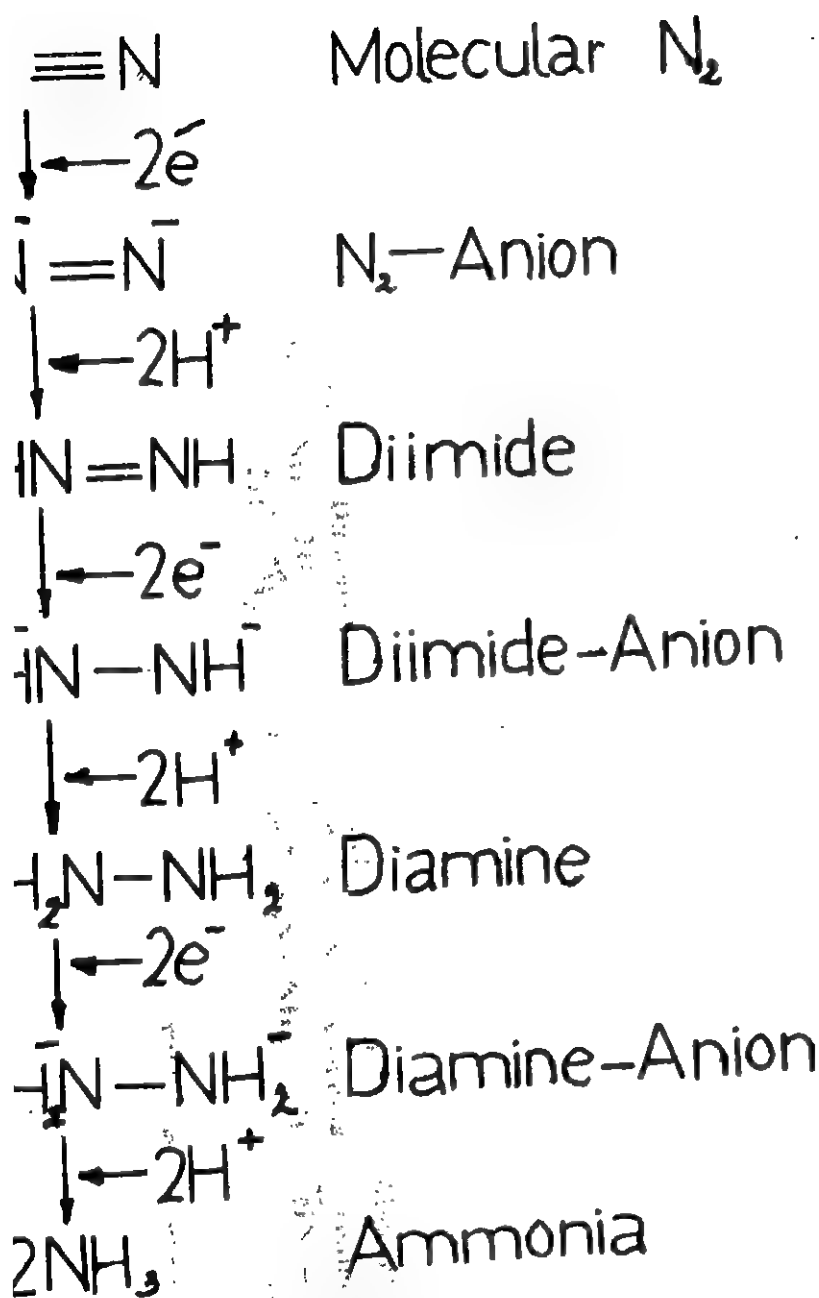
Biological Nitrogen Fixation

تلعب احياء التربة المجهرية (Soil Microorganisms) دوراً مهماً في اغناء التربة بعنصر النتروجين حيث انها تقوم بتثبيت النتروجين الجوي ويقدر العلماء ماثبتت من النتروجين الجوي بيولوجياً (اي بفعل احياء التربة الدقيقة) بحوالي 172 مليون طن من النتروجين سنوياً وهذا يبلغ 4-5 أضعاف مقدار الكمية التي تثبت صناعياً اي نتيجة صناعة الاسمدة الكيماوية النتروجينية (Mengel and Kirkby 1982).

كما يقدر العلماء ان 90% من النتروجين المثبت بيولوجياً يعود الى البكتيريا التكافلية (Symbiotic) والتي تعود الى الجنس (Rhizobium) وان 10% فقط تساهم به البكتيريا الحرة المعيشة (Free Living Bacteria) والتي منها الـ (Azotobacter) والـ (Clostridium). كما اشارت الدراسات الى ان 90% من النتروجين المثبت بواسطة الرايزوبيوم والتي تعيش على جذور النباتات البقولية يذهب للنبات البقولي العائل (Host Plant) اثناء موسم نموه والـ 10% الاخرى من النتروجين المثبت يستهلك من قبل الرايزوبيوم نفسها والذي يعود بدوره ثانية الى التربة بعد موت وتحلل هذه البكتيريا بفعل احياء مجهرية اخرى .

اما بالنسبة للبكتيريا الحرة المعيشة (الازوتوباكتر والكليستريريوم) فإنها تستغل كل النتروجين المثبت بواسطتها مباشرة وعند موتها وتحللها يعود ما بها من نتروجين الى التربة .

وبالنسبة لكمية النتروجين المثبتة بواسطه البكتيريا حرة المعيشة فلا يتجاوز عدة كيلوغرامات في الهكتار في السنة في المناطق المعتدلة وقد يصل من 20 الى 40 كغم N / هكتار في المناطق الاستوائية مثل غابات الامازون في البرازيل . غير

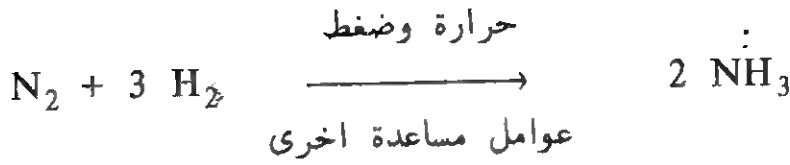


شكل (2.7) كيمياء تثبيت النتروجين الجوي بواسطة احياء التربة المجهرية محور عن : (Mengel, 1968)

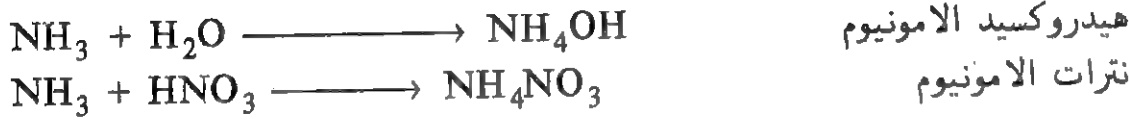
ان ماثبت من النتروجين بواسطة البكتيريا التكافلية قد يصل من 100 الى 400 كغم N هكتار / سنوياً في المناطق المعتدلة تحت الظروف الملائمة عند زراعة التربة بالجت أو البرسيم . ومن هنا يتبين مدى اهمية النباتات البقولية في الدورة الزراعية . والشكل (2-7) يوضح كيمياء تثبيت النتروجين الجوي بواسطة احياء التربة المجهرية وفيما يلي اهم العوامل التي تؤثر على بكتيريا العقد الجذرية المثبتة للنتروجين (الرايزوبيوم) :

- (1) نوع السلالة وفعاليتها حيث ان لكل محصول بقولي سلالة متخصصة عليه .
- (2) تخصص العائل حيث ان كمية النتروجين المثبتة في الجو تتوقف على نوع المحصول وان السلالة الواحدة تختلف في قدرتها على تثبيت النتروجين الجوي باختلاف المحصول (باقلاء - حمص - جت ... الخ) .
- (3) التهوية والمعروف ان الرايزوبيوم هي بكتيريا هوائية ومن هنا يتبين مدى اهمية بزل الترب الزراعية .
- (4) انسب درجة حرارة هي من 18-28° م ولكنها قد تنمو في درجات حرارة مختلفة من صفر الى 50° م .
- (5) انسب درجة pH هي من 5-7 ولكنها قد تنمو في بيئات واسعة من الـ pH (3-10) .
- (6) وجد ان هناك علاقة بين تثبيت النتروجين الجوي وعملية التركيب الضوئي وان عملية تثبيت النتروجين تكون على اشدها عند الظهر ويتوقف عملها تماماً في الظلام .
- (7) تحتاج الى عناصر معدنية مثل Co , Mo , Fe , B , Mn , N , P , K , Ca .
- (8) اضافة الاسمدة النتروجينية بكمية كبيرة يقلل من نشاط الرايزوبيوم في تثبيت النتروجين الجوي . غير انه ينصح في البداية أو عند الزراعة اضافة كمية قليلة من السماد النتروجيني حوالي 5 كغم N / دونم لضمان تكوين مجموعة جذرية جيدة وقوية وبالتالي يتكون عليها عقد بكتيرية كبيرة الحجم ووردية الشكل قليلة العدد على الجزء العلوي من الجذر وتبقى طول فترة نمو النبات وهذه كلها من مميزات السلالة الفعالة للرايزوبيوم .

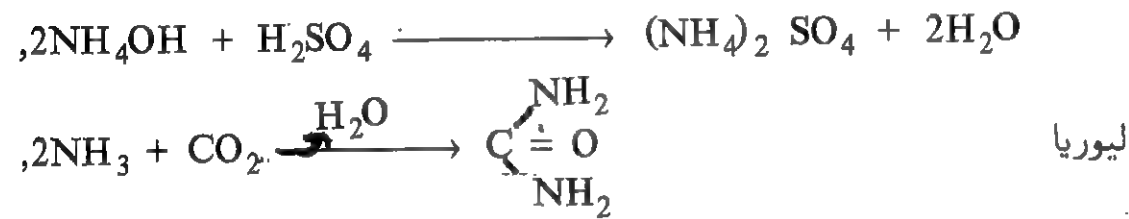
وبما تجدر الاشارة اليه بالاضافة الى تثبيت النتروجين بيولوجياً فيمكن للنتروجين ان يثبت كيميائياً ايضاً كما في طريقة (Haber-Bosch) والتي فيها يتفاعل H_2, N_2 معاً تحت ظروف حرارة شديدة وضغط عال لتكوين الامونيا وهذه الطريقة هي الاساس في انتاج الاسمدة الحاوية على الامونيوم كما يتبين فيما يلي :



ومن هذه الامونيا يمكن الحصول على اسمدة اخرى خاصة بالنروجين كما يتضح مما يلي :



كبريتات الامونيوم $2\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3$
كما يمكن الحصول على كبريتات الامونيوم من التفاعل الاتي :



وبالاضافة الى تثبيت النتروجين بيولوجياً وصناعياً فإن النتروجين الجوي يثبت نتيجة لتوليد شرارة كهربائية في الجو (Electrical discharge) في الشتاء نتيجة للبرق والتي تؤدي الى اكسدة النتروجين الجوي وتكوين اكاسيد النتروجين مثل $(\text{NO}, \text{N}_2\text{O}, \text{N}_2\text{O}_5)$ والتي تنزل مع ماء المطر مكونة في النهاية النترات (NO_3) . والكمية المثبتة بهذه الطريقة ليست كبيرة وتقدر ببضع كيلو غرامات بالهكتار / في السنة تحت الظروف المناخية المعتدلة اما في المناطق الاستوائية فتكون الكمية المثبتة بطبيعة الحال اكثر ولكنها عموماً لا تتجاوز عشرة كيلو غرامات نتروجين بالهكتار وللسنة الواحدة .

وكما ذكر مسبقاً ان امتصاص النترات يكون افضل تحت الظروف الحامضية في حين تمتص صورة الامونيوم بدرجة افضل تحت الظروف القاعدية وعند درجة pH 6.8 يتساوي امتصاص الصورتين من قبل المحصول النامي (Mengel 1968) .

وما تجدر الاشارة اليه كذلك انه تحت الظروف الطبيعية عندما لا يوجد فوق التربة الا عدة نباتات برية أو في حالة زراعة التربة البكر (Virgin) لأول مرة يكون نتروجين التربة كافياً لسد حاجة هذه النباتات ، ولكن عندما تستغل التربة زراعياً يصبح نتروجين التربة أو النتروجين المضاف عن طريق الظروف الطبيعية

مثل تكون النترات نتيجة البرق غير كاف لسد احتياجات المحاصيل الزراعية وبالتالي تضعف قدرتها لاعطاء اعلى حاصل واجود نوعية . ولاجل تحقيق هذا الهدف لا بد من الاهتمام والعناية باضافة الاسمدة النتروجينية . غير انه يجب ان يلاحظ انه في حالة اضافة المخلفات الحقلية مثل القش بعد عملية الحصاد والدراس ولاجل الحفاظ على نتروجين التربة وعدم استنزافه من قبل احياء التربة المحللة له يجب اضافة كغم واحد نتروجين لكل مائة كغم من هذا القش (Mengel, 1968) . إن اضافة القش تزيد من نشاط الاحياء المثبتة للنتروجين الجوي (Terman and Brown, 1968) .

(هـ) تثبيت الامونيوم وغسل النترات

بعكس النترات السالبة الشحنة والمتحركة في التربة والتي تغسل الى الاعماق لا يمكن للنباتات ذات الجذور السطحية الاستفادة منها بصورة فعالة فإن الامونيوم شأنه شأن الكاتيونات (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} , K^{+}) حيث يمدص على سطوح غرويات التربة بالاضافة الى ان الامونيوم يمكن ان يسك بقوة كما في حالة البوتاسيوم بين طبقات معادن الطين 1:2 مثل الايلايت (Illite) والفيرميكولايت (Vermiculite) والمونت موريللونيت (Montmorillonite) ويمكن ان يتنافس ايوني K^{+} , NH_4^{+} على جهة ارتباط واحدة نظراً لتقارب نصف قطرها [$1.43A^{\circ}$ K^{+} , $1.33A^{\circ}$] حيث A° هو الانكستروم ويساوي (10^{-7} ملم) .

إن عملية مسك الامونيوم أو البوتاسيوم بين رقائق معادن الطين 1:2 يطلق عليها عملية التثبيت وطبقاً لما ذكره (Sippola et. al., 1973) في تجاربهم على الترب الفنلندية إن مقدار ماثبت من الامونيوم في معدن الفيرميكولايت قد فاق ماثبت من البوتاسيوم وتقدر الكمية المثبتة من الامونيوم بحدود 2000 الى 3000 كغم نترجين بالهكتار الواحد .

ونتيجة لعملية امتصاص (Adsorption) الامونيوم وتثبيته فإن حركة الامونيوم تكون أقل بكثير من حركة النترات ولهذا يفضل إضافتها لحقول الرز خوفاً من غسلها من ناحية وخوفاً من حدوث فقد آخر نتيجة عملية نزع النتروجين (Denitrification) التي تحدث للنترات من ناحية اخرى والتي تؤدي الى فقد نتروجين النترات على شكل غاز (N_2) الى الهواء الجوي . هذا وقد أوضح (Williams, 1970) إن محتوى ماء الصرف من النترات أكثر بمائة مرة من محتواه من الامونيوم .

ما تقدم تبين أن الظروف المناخية السائدة في المنطقة وأحياء التربة ودرجة تفاعلها (pH) ونسبة الرطوبة فيها ومحتوى التربة من الطين والدبال وكميات مياه الري أو الامطار الساقطة ونوع النباتات المزروعة (نجيليات أم بقوليات) تعد من أهم العوامل التي تؤثر في محتوى الترب من النتروجين وجاهزيته .

(و) وظائف النتروجين

يبلغ محتوى النبات من النتروجين من 2 الى 5% من المادة الجافة (أي 20 الى 50 بلغم N / غم من المادة الجافة) . وهو يلعب دوراً مهماً في حياة النبات فهو في بداية حياة النبات يعمل على زيادة النمو الخضري حيث يكون النبات طويلاً واوراقه كبيرة وعريضة وطرية وخضراء اللون زاهية بالإضافة الى تقوية المجموعة الجذرية للنبات والتي تعتبر ضرورية جداً للنبات لتثبيتته في التربة من ناحية ولامتصاص الماء والمغذيات من التربة من ناحية اخرى . أما في المراحل اللاحقة فإن النتروجين يكون ضرورياً لتحسين نوعية المحاصيل الزراعية .

غير انه يجب أن يلاحظ عدم اضافة جميع كمية السماد النتروجيني دفعة واحدة عند أو قبل الزراعة لان ذلك يؤدي الى زيادة النمو الخضري بدرجة كبيرة وقد يؤدي الى تأخير فترة النمو الثمري وبالتالي تكون النباتات عرضة لمهاجمة الحشرات والآفات الضارة الاخرى علاوة على قلة الحاصل ورياءة نوعيته . ولنفس الاسباب السابقة يجب عدم تأخير اضافة الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني أو زيادة كميتها وعلاوة على ماتقدم فإن الزيادة المفرطة من النتروجين تؤدي الى زيادة تكوين البروتوبلازم الناشيء من تكوين البروتين وحيث أن البروتوبلازم يحتوي على كميات كبيرة من الماء فإن ذلك يؤدي الى زيادة وجود الماء في الخلايا وبالتالي يؤدي الى زيادة ضغطها الانتفاخي (ψP) من ناحية وعلاوة على سرعة تحول الكربوهيدرات الى بروتين وبالتالي لاترك فرصة لترسيب الكربوهيدرات في جدران الخلايا فتكون رقيقة ومن السهل مهاجمتها بواسطة الآفات الضارة واختراقها كما يجب أن يلاحظ ان زيادة كمية الدفعة الاخيرة من النتروجين سوف يضر بعض المحاصيل مثل البطاطا وقصب السكر والبنجر السكري والقطن والمحاصيل الزيتية الاخرى حيث أن زيادة نسبة البروتين سوف تكون على حساب كمية الكربوهيدرات والزيت من ناحية وعلاوة على زيادة النمو الخضري والتي تكون على حساب كمية الحاصل نفسه ونوعيته .

ويمكن تلخيص وظائف النتروجين الفسلجية بما يلي : -

1 - يدخل في تكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر حجر الاساس في تكوين البروتين .

2 - يدخل النروجين في تكوين الاحماض النووية (DNA, RNA)
DNA = De-oxy ribonucleic acid

RNA = ribonucleic acid

3 - يدخل في تكوين مركبات الطاقة مثل الـ ATP ، $NADH_2$ ، $NADPH_2$

ATP = Adenosine triphosphate

$NADPH_2$ = Nicotine amide adenine dinucleotide phosphate

$NADH_2$ = Nicotine amide adenine dinucleotide.

4 - يدخل مع المغنيسيوم في تكوين جزيئة الكلوروفيل .

5 - يدخل في بناء الاغشية الخلوية مثل غشاء البلازما والمائيتوكوندرية والبلاستيدة الخضراء وغشاء الفجوة حيث أن كل غشاء خلوي مكون من بروتين وفوسفوليبيد .

6 - يدخل في تكوين الانزيمات حيث أن كل أنزيم يتكون من بروتين .

7 - يدخل في تكوين الفيتامينات وخاصة مجموعة فيتامين B المعقدة Vitamin B.Complex والتي منها (B_1 , B_2 , B_6 , B_{12}) وكذلك يدخل

في تكوين فيتامين H (البيوتين Biotin) .

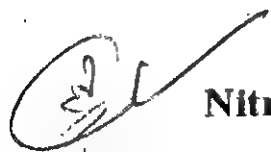
8 - يدخل في تكوين الأميدات مثل الاسباراجين والكلوتامين وهذه قد يكون لها اهمية في تخليص النبات من السمية نتيجة وجود زيادة من الأمونيا الناتجة من عملية اختزال النترات بداخل النبات .

9 - يدخل في تكوين مشتقات الامينات مثل الكولين (Choline) .

$(H_3C)_3N^+-CH_2-CH_2-OH$
(Trimethyl ethanolamine)

ومن الكولين يشتق منظم النمو المسمى تجارياً بالسايكوسيل (Cycocel) ويسمى كذلك (CCC) Chloro choline chloride ويستخدم هذا المركب حالياً على نطاق كبير في أوروبا لتقليل رقاد الحنطة حيث يمنع أو يشبط تكون حامض الجبريلين (Gibberellic acid) فيجعل النباتات قصيرة وسميكة وبالتالي يقل رقادها . ويذكر أن لعملية الرقاد تأثيرات سلبية على الحاصل ونوعيته خاصة اذا حدثت في مرحلة متأخرة من نمو محصول الحنطة وخاصة في مرحلة ملء البذور واذا ماتكسرت السيقان مما يعرقل عملية انتقال المواد الواجب خزنها في البذور .

إن دخول النروجين في تكوين الاحماض الامينية ومنها الاحماض الامينية الاساسية (Essential amino acids) التي تتكون فقط بواسطة النباتات ، يستطيع كل من الانسان أو الحيوان تكوينها يعتبر على درجة كبيرة من الأهمية .



Nitrate reduction

(ز) اختزال النترات

بعد امتصاص النترات من قبل النبات ولكي يستفيد منها يجب أولاً أن يحدث عملية اختزال للنترات إلى الأمونيا والتي بدورها ترتبط مع حامض عضوي كيت لتكوين الاحماض الأمينية التي يتكون منها البروتين أو قد تدخل هذه الأمونيا تكوين القواعد النيتروجينية البيورين والبيريميدين (urine, Pyrimidine) ومشتقاتها التي تدخل مع السكر الخماسي الرايبوز ومجموعة الفوسفات في تكوين النكليوتيدات (Nucleotides) الحجر الاساس في تكوين الاحماض النووية . أو تدخل الأمونيا في تكوين المركبات النيتروجينية الأخرى كالأميدات والأمينات الخ .

والشكل (3-7) يوضح عملية اختزال النترات في النبات .

غير أن الدراسات الحديثة تشير إلى أن عملية اختزال النترات تتم بخطوتين حيث أن الخطوة الأولى تحدث في السايوبلازم وفيها تتحول النترات نترت بمساعدة أنزيم الـ Nitrate reductase كالتالي : -

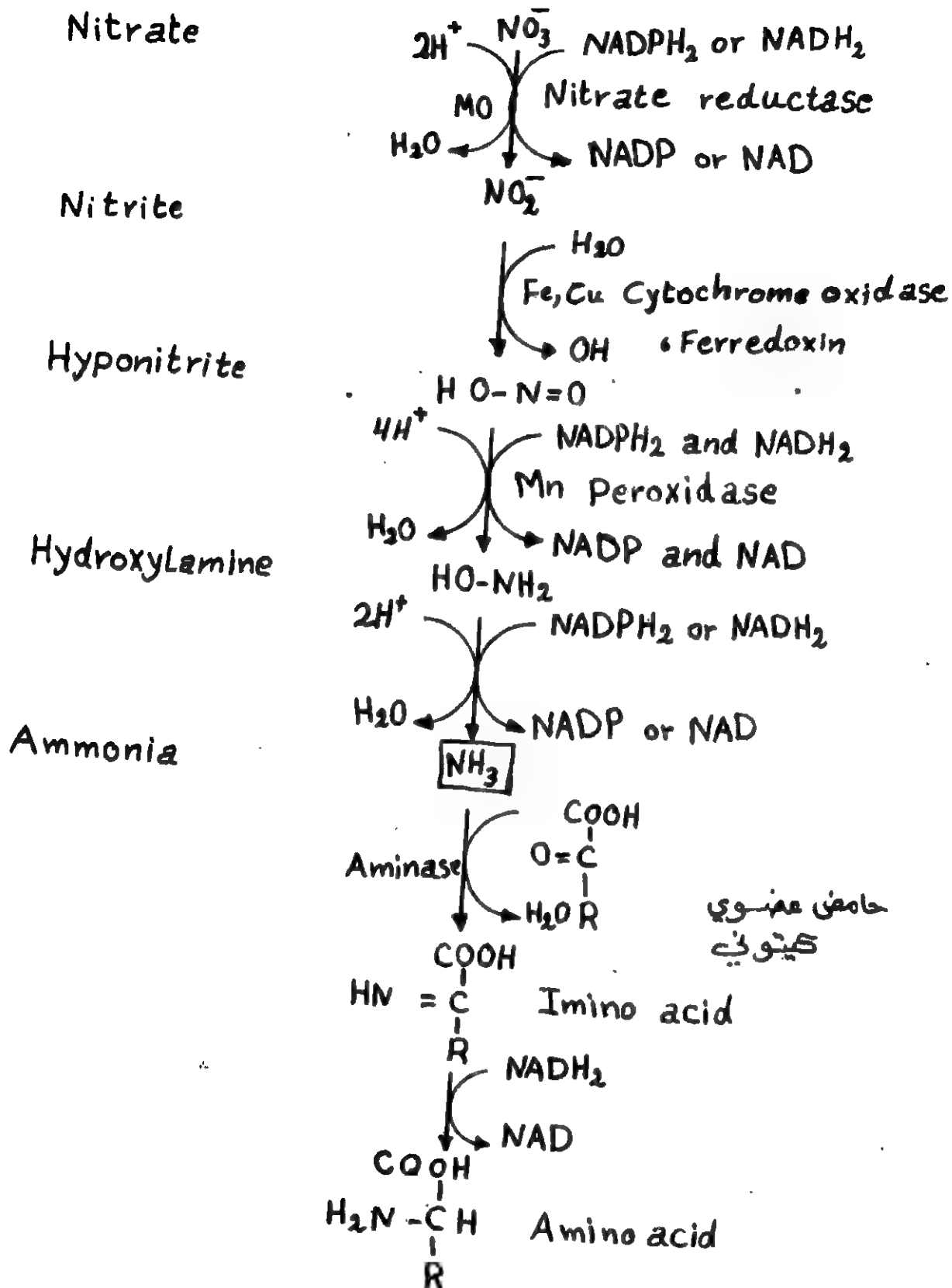


أما الخطوة الثانية فتتم في البلاستيدات الخضراء حيث تتحول النترت إلى أمونيا بواسطة أنزيم الـ Nitrite reductase كما يلي : -



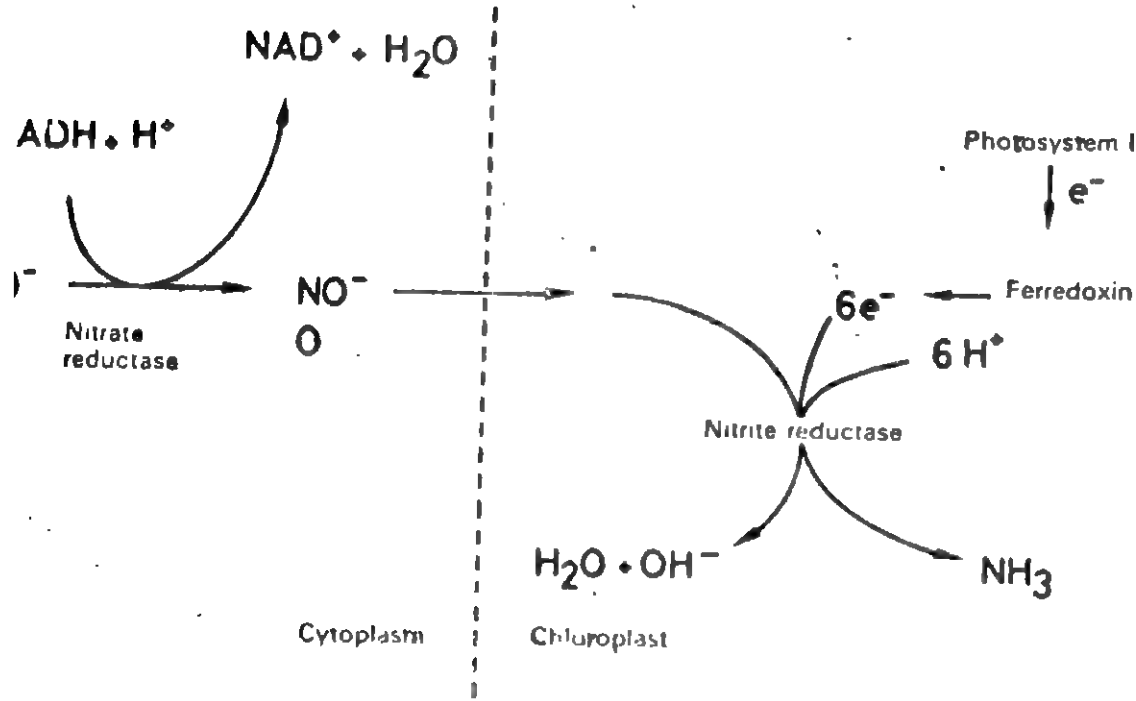
وعليه تكون المحصلة النهائية لعملية الاختزال هي : -





شكل (3-7) يوضح اختزال النترات في النبات ثم ارتباطها مع حامض عضوي كيتوني لتكوين الاحماض الامينية عن : (Mengel, 1968).

والشكل (4-7) يوضح المخطط الحديث لاختزال النترات في النبات .
 ان الأنزيم nitrate reductase مكون من بروتين مع (Flavin) FAD ومولبدنم (Mo) وكل منها يعمل على نقل الالكترونات من القوة الاختزالية والتي هي بصورة رئيسية الـ (NADH_2) الى ذرات الاوكسجين العائدة الى النترات كما يتضح ذلك من الشكل (5-7) وان الـ Nitrate reductase هو انزيم ذائب وذو وزن جزيئي يقرب من 500000 الى 600000 (Beevers, 1976) وهو يحتاج الى تجهيز دائم من NADH_2 للمحافظة على نشاطه والـ NADH_2 تنتج في الساييتوبلازم .

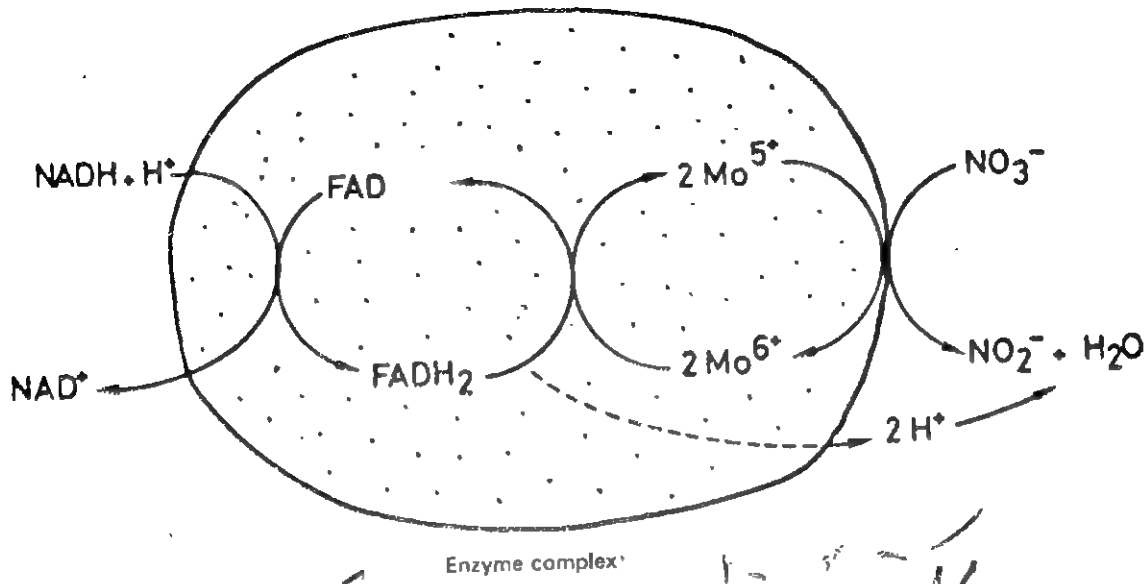


شكل (4-7) مخطط يوضح عملية اختزال النترات في النبات عن : (Mengel and Kirkby, 1982)

در. محمد عبد الوهاب / ١٤٢٥ هـ

أبيل

www.1-mail.com



صورة المخطط التفاعلي لـ Nitrate reductase

شكل (5-7) يوضح أنزيم الـ Nitrate reductase عن : (Mengel and Kirbky, 1982)

ان اختزال النترات يمكن ان يحدث في الجذور وان الـ NADH_2 الذي يحتاج اليه يجهز بواسطة تنفس الجذر . واذا حدث اختزال للنترات في أجزاء النبات الخضراء فان ذلك يحفز تجمع الـ (Malate) في السايكوبلازم والفجوة وهذا له علاقة بامتصاص وانتقال الايونات حيث ان التغذية بالبوتاسيوم تمنع صعود الـ Malate الى اعلى وبذلك تنزل الـ Malate الى اسفل باتجاه الجذور وعند تحللها يتكون أنيون البيكربونات HCO_3^- والذي يمكنه ان يتبادل مع الانيونات وخاصة النترات وهذا يعتبر على درجة كبيرة من الاهمية فانه لرفع كفاءة النبات للاستفادة القصوى من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني فيجب الاهتمام والعناية باضافة الكمية من السماد البوتاسي .

(ح) موعده وطريقة اضافة السماد النتروجيني :

يفضل اضافة الاسمدة النتروجينية على دفعات حيث تضاف الدفعة الاولى عند الزراعة نثراً مع جميع كمية السماد الفسفاتي والبوتاسي ، أما الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني فتضاف عادة قبل الازهار بفترة وجيزة وذلك حتى تعطي

الفرصة الكافية لعملية الملء وتحسين النوعية حيث ان الهدف من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني هو لتحسين النوعية اما بقية الدفعات فهي لتحسين النمو الخضري والتي تنعكس بالايجاب على زيادة الحاصل .

(ط) اعراض نقص النتروجين :

في حالة وجود نقص النتروجين في النباتات غالباً ما يكون محتوى المادة الجافة أقل من 1.5% N (أي أقل من 15 ملغم N / غم من المادة الجافة) . إن النتروجين عنصر جيد الحركة بداخل النبات ولذلك تظهر أعراض نقصه على الجزء السفلي أي على الاوراق القديمة للنبات أو الفرع . ويكون النبات جميعه مصفراً ومتقزماً والساق ضعيفة والاوراق رفيعة وصغيرة مع ضعف المجموع الجذري للنبات وفي حالة النجيليات تكون السنابل قليلة العدد وقصيرة مع قلة عدد بذورها والبذور تكون ضامرة اي مجمدة وغير ممتلئة لقلّة محتواها من الكربوهيدرات والبروتين . وفي حالة البقوليات يلاحظ عدم تكون العقد البكتيرية على جذورها . ويجب أن يلاحظ ان اعراض نقص النتروجين تبدأ على قمة وحواف الاوراق القديمة ومع تقدم اعراض النقص تتجه الاعراض باتجاه العرق الوسطي للورقة وتظهر المناطق المنخورة (Necrosis) وهي المرحلة التالية لعملية الشحوب أو الاصفرار (Chlorosis) بشكل الحرف (v) . وتصفّر الاوراق القديمة وتجف قبل سقوطها علماً بأنها تسقط قبل بلوغها مرحلة النضج . وفي معظم الحالات يلاحظ التفاف قمة الاوراق بشكل حلزوني باتجاه السطح العلوي للورقة وهذه اعراض نموذجية يمكن تشخيصها بسهولة في حالة الحمضيات ، كما أن ثمار الحمضيات تكون منتفخة ذات قشرة سميكة مع قلة عدد الثمار وانخفاض عصاريتها مع زيادة نسبة الحموضة فيها . أما في الخيار فتكون الثمار قصيرة ومصفرة ذات نهاية مجمدة عليها اخاديد . كما يلاحظ أن أوراق نباتات اللهانة والقرنابيط وانواع البنجر والقطن والكتان تتلون بلون أرجواني شبيه بنقص عنصر الفسفور . وفي الطماطة تكون الساق رفيعة ومتصلبة مع تلون الساق وأعناق الاوراق بلون أرجواني . وتتساقط الاوراق والازهار في وقت مبكر والثمار تكون صغيرة الحجم وتظل لفترة طويلة خضراء باهتة ثم تتحول فجأة الى لون أحمر قاني .

أما السمية بالنتروجين في الطماطة فتؤدي الى عدم تلون الثمار بلونها الطبيعي حيث تظل المنطقة القريبة من عنق ثمرة الطماطة محتفظة بلونها الاخضر كما يلاحظ وجود بقع خضراء على ثمار البرتقال كما لوحظ تمزق ثمار التفاح .

إن التأثير السمي للامونيا يبدأ من 0.15 ملليمول بينما يبلغ التركيز المميت حوالي 6 ملليمول في المادة النباتية . والحد المسموح به من الأمونيا هو 0.1 الى 0.3 ملغم NH_3 / م³ من الهواء الجوي .

والسمية بالأمونيوم تسبب موت موضعي على قمة وحواف الاوراق وذات لون مبيض في حين أن السمية بالنترات تكون ذات لون بني أما السمية بال- NO_2 فلونها مصفر . والتأثير السمي للأمونيا يوقف كذلك عملية الفسفرة .

(ي) علاج نقص النتروجين :

يمكن علاج نقص النتروجين اما باضافة الاسمدة النتروجينية للتربة أو رشها على النباتات مباشرة (Foliar application) حيث يمكن استخدام أسمدة كبريتات الامونيوم (N%21) أو اليوريا (N%46) أو نترات الامونيوم (N%33) ويفضل سماد نترات الامونيوم للعلاج السريع لاحتوائه على صوري الامتصاص لعنصر النتروجين وفي حالة اضافة هذه الاسمدة رشا على أوراق النباتات يفضل الا يزيد تركيز محلول الرش عن 5% بأي حال من الاحوال خوفاً من حدوث سمية نتيجة زيادة التركيز وفي المعتاد تزول أو تتلاشى اعراض نقص النتروجين بسرعة جداً في غضون أسبوع الى عشرة ايام .

2.1.7 - الفسفور Phosphorus (P)

(أ) فكرة عامة :

يوجد الفسفور في التربة بحدود 0.02 الى 0.15% وقد تتراوح نسبته من 0.04 الى 0.20% فسفور في التربة العضوية . وهو يوجد اما في صورة عضوية او معدنية وتشكل الصورة العضوية حوالي 20 الى 80% من الفسفور الكلي (1959, Williams).

وعموماً يمكن تقسيم اشكال الفسفور في التربة الى : -

1 - الفسفور الذائب

وهو الفسفور الموجود في صورة أيونية اي حرة في محلول التربة على شكل H_2PO_4^- أو HPO_4^{2-} والجاهزة (available) مباشرة للامتصاص بواسطة جذور النبات .

ان كمية الفسفور الذائب في محلول التربة قليلة جداً وعادة تتراوح من 0.3 الى 3 جزء بالمليون في الترب الزراعية وهذا يعادل 10^{-5} الى 10^{-4} مول (et, al 1973, Hossner) وتتوقف النسبة بين الايونين السابقين على تفاعل التربة

(pH) ، حيث تسود الصورة الاحادية في الـ pH الحامضي في حين يزداد تواجد الصورة الثنائية التكافؤ في الـ pH القاعدي . وعند pH (7) يتساوى تواجد الصورتين في محلول التربة . ويمثل تركيز الفسفور في محلول التربة شدة الفسفور (Intensity) .

٢ - الفسفور غير المستقر او المتغير (Labile pool)

وهو الفسفور المدص على السطوح وفي حالة توازن مع الفسفور الذائب . إن المادة العضوية في التربة تزيد من جاهزية

الفسفور حيث يمكنها أن ترتبط مع عناصر الـ Ca و Mg و Fe و Al في صورة مركبات مخلبية وبالتالي تقلل من فرصة ارتباط هذه الايونات مع الفسفور وتحد من تكوين الصور المعقدة غير الجاهزة للامتصاص . كما وجد ان السليكات تزيد من جاهزية الفوسفات في التربة وللنبات . والجدول (1-7) يوضح اهم المعادن الحاوية على الفسفور .

جدول (1-7) يوضح اهم المعادن الحاوية على الفسفور مأخوذ من (1982) (Mengel and Kirbky,

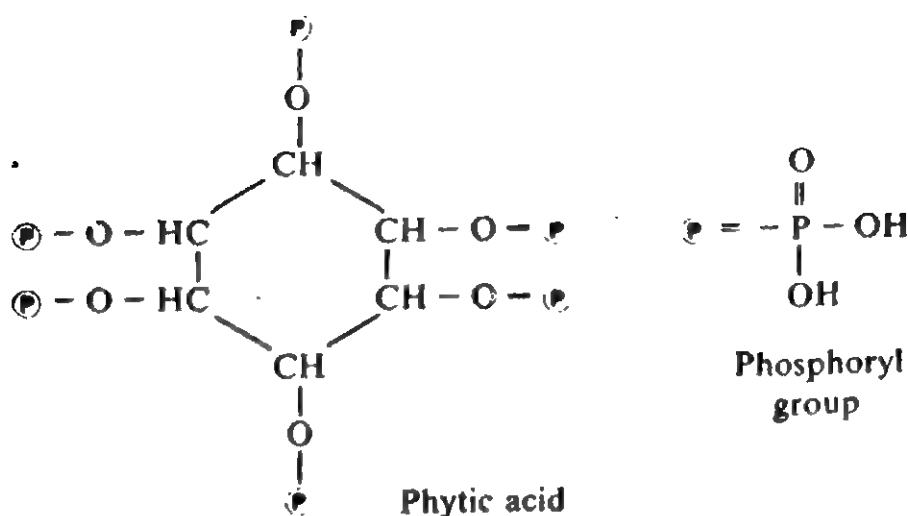
2 [Ca ₅ (PO ₄) ₃ OH]	Hydroxyapatite
2 [Ca ₅ (PO ₄) ₃ F]	Fluorapatite
2 [Ca ₅ (PO ₄) ₃ CO ₃]	carbonate apatite
CaHPO ₄	Dicalcium phosphate
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Tricalcium phosphate
Fe PO ₄ . 2H ₂ O	Strengite
AlPO ₄ . 2H ₂ O	Variscite

وعموماً يشكل الفسفور المعدني حوالي 0.12 % P في الصخور النارية في المتوسط وأن معدن الاباتيت يشكل 95 % منها .

3- الفسفور غير الذائب (non-Labile pool) ويشمل فوسفات الاباتيت وقسم من مشتقات الالمنيوم والحديد والفسفور العضوي .

أما الصورة العضوية للفسفور فتوجد في صورة املاح الكالسيوم والمغنسيوم لحمض الفايتيك (Phytic acid) والذي يسمى الفاييتين .

الـ Phytic acid عبارة عن استر حامض الفسفوريك السداسي والمشتق من الأيونوسيتول كما هو موضح في الشكل (7-6) .



شكل (6-7) توضيح لتركيب حامض الفاتيك .
عن : (Mengel and Kirbkg, 1982)

اما المحتوى الاعتيادي للفسفور في المادة الجافة فانه يتراوح 0.2-0.5% P واذا خفض المحتوى عن 0.2% P في المادة الجافة وخاصة الخضروات فيحدث نقص الفسفور فيها . وعموماً الاعضاء الثمرية تحتوي على الفسفور أكثر من بقية اجزاء النبات الاخرى فقد وجد بأن بذور الحنطة والقطن تحتوي على 80% من الفسفور الكلي في النبات في مرحلة النضج (1968, Mengel) .

ولهذا السبب فإن المحتوى 2% P في بذور النجيليات يعتبر محتوى اعتيادي ويخزن فيها الفسفور في صورة الفانين كما ذكر مسبقاً ولا يمثل هذا المحتوى أي سمية في هذه الحالة . في حين وجد ان المحتوى 3% P في المادة الجافة في الاجزاء الهوائية للحنطة قد سبب سمية بالفسفور فيها حيث أدى الى ذبول النبات (1983, Bergmann) . وكميات كبيرة من الفسفور النباتي قد تصل حوالي 80% تكون قابلة للذوبان لذا ننصح ربات البيوت والمشرفين على طهي الطعام بضرورة عدم التخلص من الماء المستخدم في طهي الخضروات .

إن مياه البحر تحتوي على حوالي 60 ملغم P / م³ وتقدر الكميات التي تفقد سنوياً في مياه البحار بالملايين من الاطنان فعلى سبيل المثال في ألمانيا الغربية حوالي 7000 طن في نهري الراين والألب . غير أن عظام الاسماك تعتبر مصدراً للفسفور وبما يذكر أن اول سماد كيميائي للفوسفات حضره العالم الألماني ليبيك (Liebig patent manure) من العظام . وهناك 35 دولة تحتوي على خامات الفوسفات في العالم وأهم هذه الدول هي :

الولايات المتحدة الامريكية

الاتحاد السوفيتي

المغرب

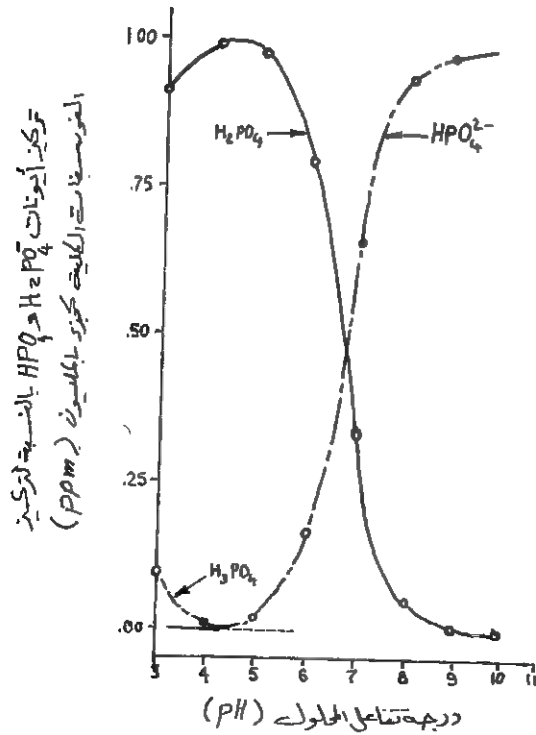
تونس

الاردن

العراق

هذا وتعتبر ايونات الزرنيخات AsO_4 والسليكات والبيكربونات من أهم الانيونات التي تزااحم أنيونات الفوسفات في عملية الامتصاص في حين وجد أن لايونات المغنيسيوم تأثير تحفيزي حيث أنها تساعد في تحويل الفسفور المعدني الممتص الى فسفور عضوي . ولقد وجد أنه بعد عشر دقائق فإن حوالي 80% من الفسفور المعدني الممتص قد مثل وحول الى صورة عضوية ويعتبر الـ Glucose-1-Phosphate اول مركب عضوي للفسفور يتكون في داخل النبات عند عملية هدم النشا (Mengel and Kirkby, 1982) .

غير أن اول مركب يتكون في عملية التركيب الضوئي هو حامض الكلسترين المفسفر (3-Phosphoglyceric acid) والشكل (7-7) يوضح العلاقة بين $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} و pH محلول التربة .



شكل (7.7) توضح العلاقة بين تركيز ايونات الفوسفات $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , pH محلول التربة .
عن : (Tisdale and Nelson, 1975)

ويتضح من الشكل انه عند pH 5 ينعدم تقريباً وجود الصورة الشائبة التكافؤ وبالمثل فعند pH 9 وأكثر تكاد تتلاشى الصورة الاحادية التكافؤ .

وبما تجدر الاشارة اليه أن حركة الفسفور في التربة بطيئة ولهذا السبب فإن الكميات التي تغسل سنوياً من الفسفور تكاد تكون قليلة جداً (من 1-2 كغم. / p هكتار) . وطبقاً لذلك فإنه يمكن اضافة الاسمدة الفوسفاتية في اي فصل من فصول السنة. حتى في الشتاء او الخريف لبساتين الفاكهة دون خوف من عمليات الفقد بياه الامطار حتى ولو كانت غزيرة .

(ب) كيفية زيادة قدرة النباتات للاستفادة من الفسفور

لرفع قدرة النباتات للاستفادة القصوى من فسفور التربة او الاسمدة الفوسفاتية المضافة فينصح باتباع الآتي :

(1) اضافة المادة العضوية

حيث انها تميل لتكوين مركبات مخلبية مع عناصر الـ Fe, Mg, Ca أو Al من ناحية ومن ناحية تأثيرها على تفاعل التربة وزيادة انتاج غاز CO_2 او أيونات الهيدروجين والتي بدورها تزيد من درجة ذوبان صور الفسفور المعقدة .

(2) اضافة الكبريت الزراعي

وخاصة للترب ذات المحتوى العالي من $CaCO_3$ حيث يتأكسد هذا الكبريت بفعل بكتيريا الكبريت الى حامض الكبريتيك مما يؤدي الى نقص تفاعل الترب القاعدية أي تقريبها الى نقطة التعادل مما يزيد من جاهزية فسفور التربة .

(3) اختيار اصناف ذات مجموعة جذرية جيدة متفرعة ومتشعبة ومتعمقة في التربة وذات قدرة أكثر على افراز أيونات الهيدروجين وهذه عوامل مهمة تعمل على زيادة جاهزية وامتصاص الفسفور من التربة .

(4) ضرورة اضافة الفسفور تلقياً أي في خفر وعلى عمق مناسب بالقرب من جذور النباتات .

(5) تلويث الجذور بالفطريات حيث أن الهيفات (hyphae) الناتجة تقوم بامتصاص الفسفور وتزود النبات به . ومن أهم هذه الفطريات هي : -

Endotrophic mycorrhizal fungi

,*Glomus macrocarpa*

,*Glomus mosseae*

لقد وجد أيضاً ان عدداً من الكائنات الحية الدقيقة والتي لها القدرة أو القابلية على انتاج أحماض عضوية او مواد مخلفية أو كليهما قد تؤدي الى زيادة ذوبان الاسمدة الفوسفاتية المضافة مثل :

Aspergillus niger

Escherichia freundt

Penicillium, *Pseudomona* (1974 Subba Rao)

(6) ضرورة الاهتمام بالري

حيث أوضحت بعض الدراسات التي قام بها الباحثون في الهيئة العامة للبحوث الزراعية التطبيقية أن كل رية اضافية قد أدت الى زيادة محصول الحنطة بمقدود 5% .

ويمكن تلخيص اهم العوامل التي تؤثر على جاهزية فسفور التربة بما يلي : -

- (1) تفاعل التربة (pH) .
- (2) محتوى التربة من كربونات الكالسيوم CaCO_3 .
- (3) محتوى التربة من الاكاسيد نصف الثلاثية (Sesquioxides) وهي اكاسيد الحديد والالمنيوم (Fe_2O_3 , Al_2O_3) . حيث تقل جاهزية الفسفور بزيادة كل من كربونات الكالسيوم والاكاسيد نصف الثلاثية .
- (4) المادة العضوية

وهي تؤثر على pH التربة من ناحية كما في حالة CaCO_3 ومن ناحية اخرى فإن ماينتج من احماض عضوية ومركبات مخلفية والتي يمكن بواسطة الاحماض العضوية التفاعل مع الفوسفات غير الذائبة (non-Labile pool) والعمل على الاستفادة منها ولو جزئياً . اما المركبات المخلفية فتزيد من حركة وجاهزية فسفور التربة نتيجة لتقليل ارتباط الفسفور مع عناصر الـ Ca ، Mg ، Fe والـ Al حيث ترتبط هذه العناصر مع المادة العضوية في صورة مركبات مخلفية .

(5) احياء التربة

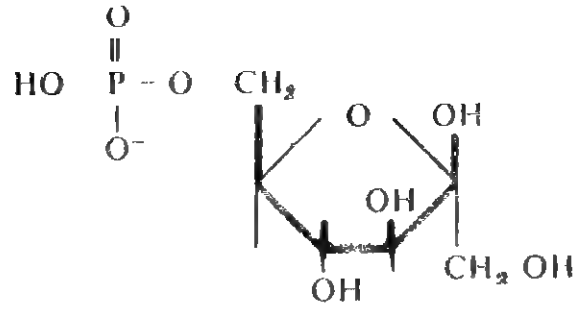
من خلال تأثيرها على الـ pH وكذلك من خلال تلقيح أو تلويث الجذور بالفطريات وتقوم الهيفات بامتصاص الفسفور نتيجة لزيادة مساحة منطقة التلامس مع فسفور التربة وامتداد النبات بهذا الفسفور الممتص من قبلها .

وكذلك من خلال هدمها لمركبات الفسفور العضوية الموجودة أصلاً في التربة او المضافة على هيئة أسمدة عضوية حاوية على الفسفور حيث تزداد درجة ذوبان مركبات الفسفور وتزداد جاهزيته بزيادة تواجد غاز ثاني اوكسيد الكربون .

- 6 - نوعية معدن الطين السائد في الترب ان امدصاص الفسفور بالصورة المدصصة (Labile pool) للفسفور تزداد في معادن الطين 1:1 مثل معدن الكاؤولينايت وهذه الصورة غير جاهزة للامتصاص وتزداد عملية امدصاص الفسفور بطبيعة الحال كلما انخفض pH التربة أي كلما زادت حموضتها .
- 7 - صور الفوسفات نفسها حيث انها تختلف في درجة اذابتها ومدى صلاحيتها والمعروف ان الفوسفات السطحية هي انسب صور الفوسفات في التربة وهي الصورة الصالحة للامتصاص ولكنها قليلة ولا تفي بحاجة النبات من هذا العنصر .
- كما ان صور الأباتيت نفسها تختلف فيما بينها من حيث جاهزيتها فكما هو معروف فإن صور الفلور أباتيت هي أصعبها ذوبانا في حين ان صورة الهيدروكسيل أباتيت أكثرها ذوبانا وبالتالي أكثرها جاهزية وملاءمة للتغذية النباتية .
- 8 - رطوبة التربة وعدد الريات المستخدمة في موسم النمو كما سبق وان اشرنا الى ذلك .
- 9 - وجود أيونات المغنيسيوم والسليكات يشجع امتصاص الفوسفات ويزيد من جاهزيته في حين أن أنيونات AsO_3^- والـ HCO_3^- يكون لها تأثير تزاحمي مضاد (Antagonism) .

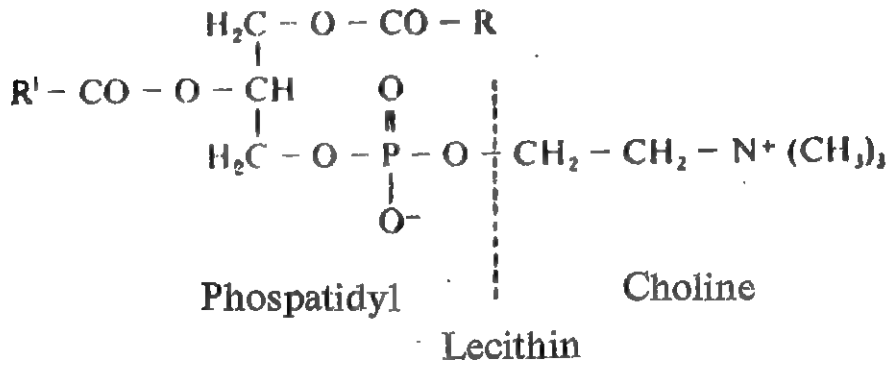
(ج) وظائف الفسفور في النبات

- 1 - يكون الفسفور استرات مع مجاميع الهيدروكسيل (OH) العائدة للسكريات او الكحولات (كل من السليكون والبورون يستطيع القيام بهذه الوظيفة ايضا) والتي يعتقد ان السكريات تنتقل من اماكن تكوينها الى حيث ما يحتاج النبات اليها ومن امثلة ذلك Glucose -1- Phosphate أو Fructose -6- Phosphate



Fructose-6-Phosphate

2 - يدخل الفسفور كما في حالة عنصر النتروجين في تكوين الاغشية النباتية مثل غشاء البلازما والميتوكوندريا والبلاستيدة الخضراء وغشاء الفجوة وذلك في تكوين الفسفوليبيدات مثل الليستين (Lecithin) والمبين فيما يلي : -



3 - كذلك يدخل الفسفور في تكوين بعض المركبات الغنية بالطاقة والتي تعمل كعوامل مشاركة للانزيمات في النبات مثل

ATP = Adenosine triphosphate

ان أصرة الـ Pyrophosphate غنية بالطاقة والتي تعطي عند تحليلها مائيا حوالي 7000-10000 سعرة حرارية / مول من الـ ATP . وهذه الطاقة اما أن تتكون نتيجة التركيب الضوئي بعملية الفسفرة الضوئية . (Photophosphorylation) او نتيجة التنفس بعملية الفسفرة التأكسدية (Oxidative phosphorylation) وهناك مركبات شبيهة بالـ ATP ومنها

CTP = Cytidine triphosphate

, UTP = Uridine triphosphate

, GTP = guanidine triphosphate

وعادة يحتاج النبات المركب (UTP) في تكوين السكروز والكالوس (Callose) اما (CTP) فضروري لتكوين الفسفوليبيدات والـ (GTP) في تكوين السليلوز. وبالمثل يدخل الفسفور في تكوين الـ NADPH_2 و NADH_2 .

NADH_2 = Nicotine amide adenine dinucleotide

NADPH_2 = Nicotine amide adenine dinucleotide phosphoshate

وتعطي الـ NADPH_2 طاقة تقدر بحوالي 52000 سعرة حرارية / مول
4 - يدخل الفسفور في تكوين الأحماض النووية (DNA) الحامل للصفات الوراثية والـ (RNA) بأشكاله الثلاثة والمهمة في عملية تكوين البروتين .

DNA = Desoxyribonucleic acid

, RNA = ribonucleic acid

5 - كذلك يخزن الفسفور في الاعضاء الثمرية مثل البذور على هيئة الفايدين والذي سبق أن بينا أنه عبارة عن أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم لحامض الفايديك والذي يتكون خلال تكون البذور ولهذا فبعد عملية التلقيح والاختصاب مباشرة هناك زيادة واضحة في انتقال الفسفور الى البذور الحديثة التكوين.

ومما تجدر الإشارة اليه أن مركب الطاقة ATP وكذلك (GTP, CTP, UTP) والـ NADH_2 , NADPH_2 والـ FADH_2 عبارة عن نكليوتيدات (Nucleotide) وان كل Nucleotide مكون من احدى القواعد النتروجينية كالبيورين (Purine) أو البريميدين (Pyrimidine) او مشتقاتها (مشتقات البيورين هي الادنين (Adenine) والكوانين (Guanine) ، ومشتقات البريميدين هي اليوراسيل (Uracil) والثايمين (Thymine) والسايروسين (Cytosine) وكذلك من السكر الخماسي الرابديز (Ribose) بالاضافة الى مجموعة الفوسفات، وبعبارة اخرى ان :
النكليوتايد = قاعدة نتروجينية + رايبوز + فوسفات .

بالاضافة الى الوظائف الفسيولوجية السابقة فالفسفور يعطي النبات قوة في النمو ويعمل على زيادة عدد التفرعات والى تقوية المجموعة الجذرية كما انه يسرع من نضج النباتات وهو كذلك يعتبر من العناصر الغذائية المهمة لتحسين نوعية المحاصيل الزراعية وعلى وجه الخصوص لون وشكل ثمار الفاكهة حيث من الصعب الحصول على ثمار ذات لون وشكل طبيعي في حالة نقص عنصر الفسفور .

(د) موعد وطريقة اضافة الاسمدة الفوسفاتية :

نظرا لبطء حركة الفسفور في التربة وعدم الخوف من تعرضه للفقد بعملية الغسل فيمكن كما ذكر اضافته في أي فصل من فصول السنة بالنسبة للاشجار المعمرة وأشجار الفاكهة، أما بالنسبة للمحاصيل الحولية والخضروات فتضاف الاسمدة الفوسفاتية غالبا قبل الزراعة حيث تنثر بعد الحرثة الاولى ثم يحرث متعامدا لقلبها وخلطها جيدا في التربة . وبالنسبة للمحاصيل التي تزرع على مروز مثل الذرة الصفراء أو القطن فيمكن اضافة الاسمدة الفوسفاتية بعد تمرير الارض وزراعتها حيث تضاف تلقيا في جور بالقرب من البذور المزروعة .

وبما تجدر الاشارة اليه ان جميع كمية الاسمدة الفوسفاتية تضاف دفعة واحدة وبدون تجزئتها الى دفعات بعكس الاسمدة النتروجينية والتي يجب أن تجزأ الى دفعات لتحسين نوعية الحاصلات الزراعية .

(هـ) أعراض نقص الفسفور :

تختلف أعراض نقص الفسفور في النباتات باختلاف أنواعها وطبقا لتركيزه في التربة وكذلك على حسب عمر النبات . حيث أن النباتات الحديثة تكون عرضة أكثر لظهور أعراض النقص بسبب ضعف مجموعتها الجذرية في بداية حياة النبات وخاصة اذا ما تميزت هذه النباتات بنمو كثيف في بداية حياتها كما هو الحال لكثير من النباتات الحولية وخاصة الخضروات . وفي معظم الحالات يحدث تقزم للنبات كما تصبح الاوراق خضراء غامقة (أي أكثر اخضراراً من اللون الاعتيادي) وفي كثير من النباتات كالذرة الصفراء والطماطة واللهاة والقرنبيط تتلون الاوراق وأعناقها بلون أرجواني كما تتساقط الاوراق القديمة في وقت مبكر . وفي حالة النجيليات يلاحظ تلون السنابل والسفا بلون أرجواني .

أما في أشجار الفاكهة فتسقط الاوراق في وقت مبكر مصحوبة بقلة تفتح الازهار مع قلة عدد الثمار وصغر حجمها كما تتساقط الثمار في وقت مبكر مع تأخير النضج . وفي الحمضيات تكون الثمار منتفخة ذات قشرة سميكة خاصة بالقرب من عنق الثمرة وطعم الثمرة يكون حامضي .

كما قد تتمزق الثمار كما في الخوخ مع وجود بقع صمغية عليها . ونقص الفسفور يؤدي الى ضعف المجموع الجذري للنبات مع قلة تفرعات المجموعة الجذرية وتلون الجذور الجانبية بلون بني .

كما يلاحظ صفر قرص عباد الشمس وكذلك تلون زهرة القرنابيط بلون أرجواني أو بني غامق . وكذلك يلاحظ تلون أوراق العرموط والعنجاص والكوجة بلون أرجواني غامق . ويعزى اللون الأرجواني الى تجمع النترات والسكريات والى زيادة انتاج وتجمع صبغة الانثوسيانين (Anthocyanin) الأرجوانية .

أما في بعض أنواع النباتات الاخرى في الكاكاو فيلاحظ تلون السطح السفلي للاوراق بلون أخضر فاتح الى ابيض مع بقاء العروق محتفظة بلونها الابيض وخاصة العروق الرئيسية. ويلاحظ ان أعناق الاوراق تشكل زاوية حادة مع الساق او الافرع وتدعى هذه الحالة بظاهرة الـ (Stiffness) وهذه الظاهرة موجودة كذلك في حالة نقص الفسفور والنيتروجين في النجيليات حيث تشكل الاوراق زاوية حادة مع الساق الرئيسية للنجيليات .

وفي حالة النقص فينصح باضافة الاسمدة الفوسفاتية مثل السوبرفوسفات الثلاثي او فوسفات الامونيوم او الاسمدة المركبة .

3.1.7 - البوتاسيوم Potassium (K)

(أ) فكرة عامة :

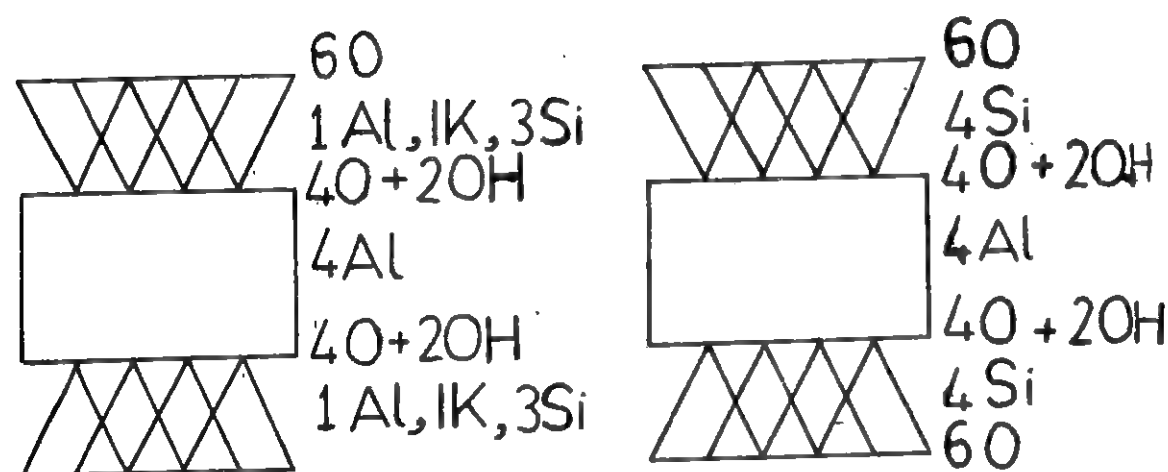
يوجد البوتاسيوم في القشرة الارضية بنسبة تقدر بحوالي 2.59% بالوزن . والبوتاسيوم يوجد اما مرتبطا في المعادن الأولية مثل الفلسبارات والميكا أو في والجدول (2-7) يوضح محتوى البوتاسيوم لبعض معادن الطين الاولى والثانوية عن : (Scheffer and Schachtschabel, 1976)

نوع المعدن	المحتوى من K_2O %
الفلسبارات القلوية (البوتاسية)	4 — 15
فلسبار الصوديوم والكالسيوم	3 — صفر
المسكوفيت (K-mica) الميكا البيضاء	7 — 11
البيوتيت (Mg-mica) الميكا السوداء	6 — 10
الاليت	4 — 7
الفرميكلولايت	2 — صفر
الكلورايت	1 — صفر
المونتموريللونيت	صفر — 0.5

معادن الطين الثانوية التي بدورها تشكل جزء الطين لحبيبات التربة (حجم أقل من 2 ميكرون) ومن هنا فان الترب الغنية بالطين تكون بطبيعة الحال غنية بعنصر البوتاسيوم .

والجدول (2-7) يوضح محتوى البوتاسيوم لبعض معادن الطين الاولية والثانوية .

ان الفلسبار البوتاسي هو الأورثوكليز (KAlSi_3O_8) أما الفلسبار الصودي فهو الألبيت ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) أما الفلسبار الكلسي فهو الأنورثيت ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7$) وما تجدر الاشارة اليه ان المعادن الاولية والثانوية المحتوية على عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد يكون تحليلها اسرع من المعادن المحتوية على البوتاسيوم او الصوديوم .



الرمز النهائي للمسكوفيت

الرمز النهائي للميكا



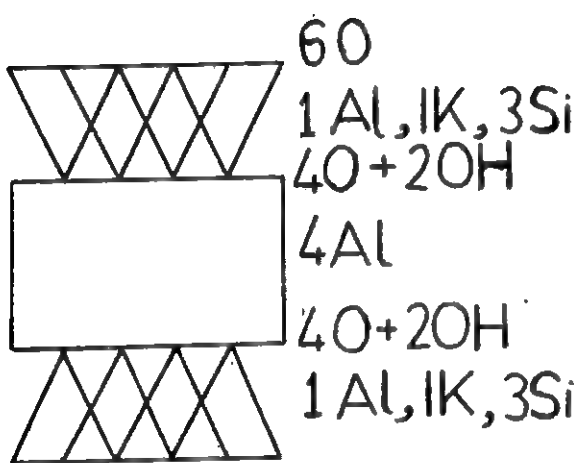
شكل (8-7) توضيح تركيب الميكا والمسكوفيت (الميكا البيضاء) محور. عن : and Klrkbg, 1982 (Mengel)



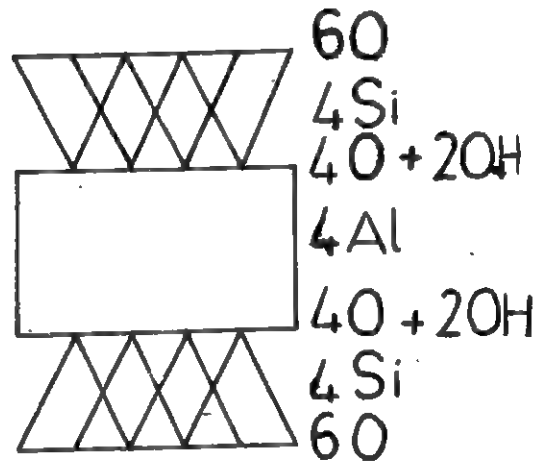
معادن الطين الثانوية التي بدورها تشكل جزء الطين لحبيبات التربة (حجم أقل من 2 ميكرون) ومن هنا فان الترب الغنية بالطين تكون بطبيعة الحال غنية بعنصر البوتاسيوم .

والجدول (2-7) يوضح محتوى البوتاسيوم لبعض معادن الطين الاولية والثانوية .

ان الفلسبار البوتاسي هو الأورثوكليز ($KAlSi_3O_8$) أما الفلسبار الصودي فهو الألبيت ($NaAlSi_3O_8$) أما الفلسبار الكلسي فهو الأنورثيت ($CaAl_2Si_2O_8$) وما تجدر الاشارة اليه ان المعادن الاولية والثانوية المحتوية على عناصر الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد يكون تحللها اسرع من المعادن المحتوية على البوتاسيوم او الصوديوم .



الرمز النهائي للمسكوفيت



الرمز النهائي للميكا



شكل (8-7) توضيح تركيب الميكا والمسكوفيت (الميكا البيضاء) محور عن : Kibbkg, 1982 and Mengel

والمسكوفيت (الميكال البيضاء) عبارة عن ميكال تابعة الى معادن الطين والتي يحدث فيها احلال متبادل حيث يحل (Al) محل (Si) في طبقة السليكا تتراهيدرا وبذلك يحدث نقص بالشحنات مقداره (1) وهذا النقص يعادل بدخول (K) وعلى هذا الاساس يصبح تركيب المسكوفيت كما هو مبين في الشكل (7-8).

هذا وتعتبر تربة البدزول (Podzol) فقيرة بعنصر البوتاسيوم كما أن تربة اللاتريت (Laterite) محتواها قليل من البوتاسيوم في حين ان التربة السوداء (Chernozem) غنية بالبوتاسيوم.

ويوجد البوتاسيوم في التربة أما ذائبا في محلول التربة او متبادلا (ممدصا) على سطوح معادن الطين أو مثبتاين رقائق معادن الطين الثانوية من نوع 1:2 مثل الايليت والموتموريللونيت أو داخلا في البناء البلوري لكثير من المعادن الاولية مثل الفلسبارات كما بينا ذلك سابقا.

يبلغ البوتاسيوم في محلول التربة حوالي 1-2% من قيمة البوتاسيوم المتبادل وهذا بدوره يبلغ حوالي 1-2% من قيمة البوتاسيوم الكلي. ويساهم البوتاسيوم المتبادل بحوالي 2-5% من سعة التبادل الكاتيوني للتربة (CEC) (Cation exchange capacity) والتي يعبر عنها بعدد المليمكافئات / 100 غم تربة.

وبطبيعة الحال كلما زاد محتوى التربة من الطين والدبال كلما زادت قيمة البوتاسيوم المتبادل والمثبت وهذا ينعكس ايجابيا على محتوى التربة من البوتاسيوم الذائب في محلول التربة والجاهز للنبات. حيث أن هناك توازن طبيعي بين صور البوتاسيوم المختلفة في التربة.

وعلى هذا الاساس تزداد قدرة التربة الامدادية بعنصر البوتاسيوم كلما زادت قدرتها على مسك البوتاسيوم أو تثبيته فيها وبمعنى آخر كلما زاد محتواها من الطين والدبال. إن معادن الطين من نوع 1:2 هي المسؤولة عن تثبيت البوتاسيوم بين وحداتها البنائية في حين ان معادن الطين من نوع 1:1 مثل الكاؤولينيت ليس لها القدرة على تثبيت البوتاسيوم ولذلك فمثل هذه الترب تكون فقيرة بالبوتاسيوم شأنها شأن الترب الرملية الفقيرة أصلا بمعادن الطين حيث في هذه الحالة يغسل منها البوتاسيوم بسرعة وبكميات كبيرة الى الاعماق ولايستفيد منه النبات. ولذلك فالترب الرملية وكذلك للترب ذات المحتوى العالي من معادن الطين 1:1 يفضل تجزئة اضافة الاسمدة البوتاسية وذلك لتقليل الفقد بعملية الغسل (Leaching).

كما ان ترب المناطق الجافة والترب العضوية الحامضية فقيرة بالبوتاسيوم حيث في حالة الترب الحامضية نظرا لزيادة تركيز ايونات الهيدروجين الناتجة من تحلل المادة العضوية فيحل الهيدروجين محل البوتاسيوم المتبادل على سطوح معادن الطين

ويتحرر البوتاسيوم الى محلول التربة وفي حالة وجود أمطار غزيرة يغسل البوتاسيوم الى الأعماق وتبدأ النباتات تعاني من نقصه وهذا موجود بالفعل في ترب المناطق الحامضية الشديدة الامطار .

وعلى هذا الاساس يمكن حصر أهم العوامل التي تحدد جاهزية البوتاسيوم فيما يلي :

- (1) نوع التربة ونوعية معادن الطين السائدة فيها .
- (2) محتوى التربة من الطين والدبال .
- (3) كمية الامطار الساقطة .
- (4) زيادة CO_2 ونقص O_2 يؤدي الى قلة امتصاص البوتاسيوم .

ويمتص البوتاسيوم على صورة كاتيون البوتاسيوم K^+ وبالرغم من أن التربة تحتوي على كميات أعلى من الكالسيوم والمغنيسيوم الا أن محتوى النبات من البوتاسيوم يكون دائما أعلى من محتواه من الكالسيوم والمغنيسيوم وهذا يؤيد الاختيارية (Selectivity) في عملية الامتصاص الأيوني والمرتبطة بالنشاط الحيوي للنبات .

وما تجدر الاشارة اليه ان أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم والامونيوم وكذلك الصوديوم تنافس البوتاسيوم في عملية الامتصاص والعكس صحيح كذلك . فوجود تراكيز عالية من ايونات الكالسيوم والمغنيسيوم في محلول التربة يمكنها أن تعيق امتصاص البوتاسيوم وتؤدي الى ظهور أعراض نقصه على النباتات . كما ان زيادة اضافة الاسمدة البوتاسية قد تؤدي الى ظهور اعراض نقص الكالسيوم كما هو الحال في حالة ظهور النقرة المرة (Bitter pit) في التفاح وتعفن الطرف الزهري للبطاطة والفلفل والباذنجان المتسببة عن نقص الكالسيوم . هذا وان عنصر البوتاسيوم جيد الحركة في داخل النبات شأنه في ذلك شأن عنصري الـ N و P ولذلك فالأوراق الحديثة التكوين تحتوي K أعلى من الاوراق القديمة وعلى هذا الاساس فإن أعراض نقصه تظهر أولا على الاوراق القديمة السفلية كما ان النبات الحديث السن يحتوي بوتاسيوم أعلى من النبات المتقدم في نموه ، وقد وجد مثلا أن الحنطة تحتوي في مرحلة التفرع 4-5 أضعاف ما تحتويه أعضاء النبات في مرحلة النضج . غير أنه يجب أن يلاحظ أن الكمية الكلية من البوتاسيوم في النبات المتقدم في العمر أعلى من الكمية الكلية المتواجدة في النبات الحديث العمر لكثرة النسيج النباتي .

غير ان التركيز في النبات الحديث أعلى من تركيز البوتاسيوم للنبات المسن ويقال أنه حدث تخفيف في هذه الحالة نتيجة لزيادة وزن النبات الكبير والمتقدم

في السن . والمحتوى الاعتيادي من البوتاسيوم يكون غالبا من 2-6% K في مادة النبات الجافة . .

وما تجدر الاشارة اليه أنه بالإضافة الى الفرق بين البوتاسيوم والكالسيوم فالبوتاسيوم عنصر جيد الحركة ، وعليه يكون محتوى الاوراق الحديثة اعلى من محتوى الاوراق القديمة من البوتاسيوم بعكس عنصر الكالسيوم البطيء الحركة بداخل النبات كما يوجد فرق آخر مهم بين البوتاسيوم والكالسيوم وهو محتوى الاوراق والسيقان من البوتاسيوم يكون تقريبا متقاربا في حين أن الاوراق تحتوي على كميات أعلى من الكالسيوم مقارنة بالسيقان كما يتضح ذلك من الجدول (3-7).

جدول (3-7) يبين توزيع البوتاسيوم والكالسيوم في الاوراق والسيقان لبعض النباتات بالمليمكاف/ 10 غم مادة جافة عن : (Scharrer and Mengel, 1960)

نوع النبات	البوتاسيوم		الكالسيوم	
	الاوراق	السيقان	الاوراق	السيقان
الخيار	9.28	16.8	24.2	10.80
عباد الشمس	10.20	8.20	8.10	4.30
البزاليا	6.85	6.21	6.09	3.39
التبغ	9.62	7.03	8.63	2.02
الفاصوليا	8.06	6.39	3.04	1.05

(ب) وظائف البوتاسيوم

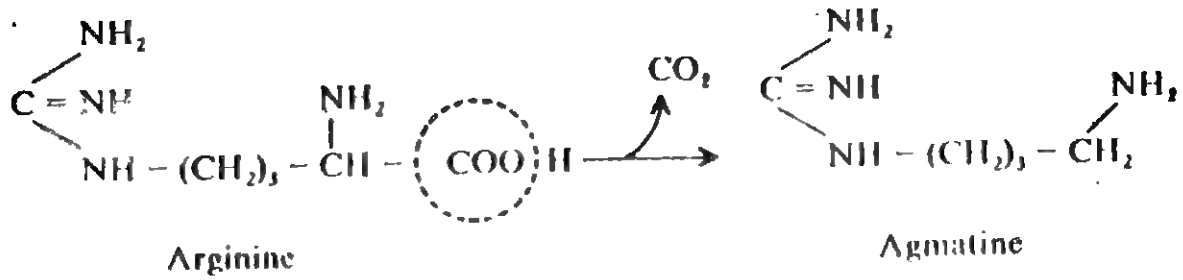
يؤدي البوتاسيوم وظائف عديدة بداخل النبات ويبدو أن عمله او دوره في النبات هو عمل تنظيمي او تحفيزي ولا يدخل مباشرة في تكوين اعضاء النبات او مركباته . وعموما يمكن القول أن دور البوتاسيوم في النبات مازال غامضا ويحتاج الى دراسة مستفيضة للكشف عن اسراره . ومع ذلك فقد توصل الباحثون الى الحقائق العلمية التالية حول دور البوتاسيوم في فسلة النبات .

(1) يوجد البوتاسيوم في صورة ايونية حرة في العصارة الخلوية للنبات ويعتبر من اكثر العناصر الغذائية مساهمة في تنظيم الجهد الازموزي للنبات وتشير الدراسات الى

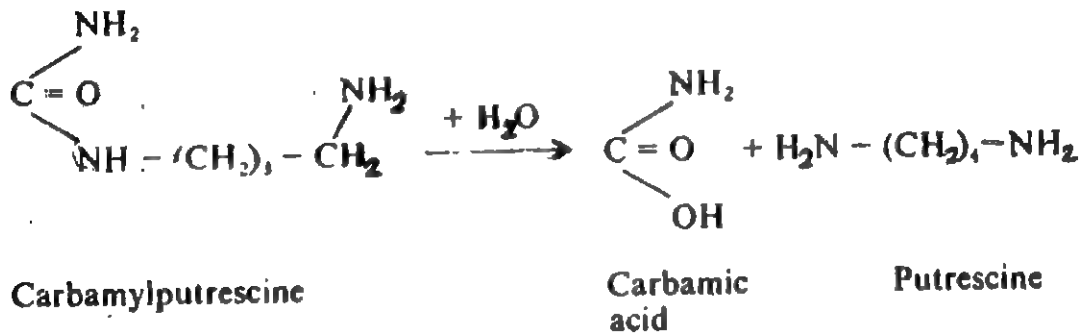
أن النباتات المجهزة بصورة جيدة بالبوتاسيوم تزداد قدرتها في الاحتفاظ بالماء بسبب انخفاض معدل النتح (Brag, 1972) والذي يرجع الى سيطرة عنصر البوتاسيوم على عملية فتح وغلق ثغور الورقة كما اشار الى ذلك الباحثان (Fischer and Hsiao, 1968). كما يرتأي (Mengel and Pflüger, 1969) أن تجمع البوتاسيوم حتى في حالة كون تركيزه في الوسط الغذائي الخارجي واطناً يقلل من الجهد الازموزي لعصير الخشب (أي يقلل من الجهد المائي) وهذا من شأنه تشجيع امتصاص الماء من ناحية ومن ناحية اخرى يقلل من نشاط جزيئات الماء في عملية النتح أي ان وجود البوتاسيوم بتركيز عالية في الخلايا النباتية يقلل من فقد الماء بعملية النتح وبمعنى آخر فإنه يزيد من قدرة النبات للاحتفاظ بالماء وهذا يكون على درجة كبيرة من الاهمية خاصة في حالة وجود شحّة في مياه الري وكذلك في المناطق الجافة وشبه الجافة .

2 - أوضح عدد من الباحثين ان هناك علاقة ايجابية في تحفيز معدل عملية التركيب الضوئي وانتقال نواتجها في حالة التغذية الجيدة بالبوتاسيوم (Viro, 1974) والذي يرجع بالدرجة الأساس الى تحفيز عملية تكوين الـ ATP والذي يحتاج اليه في ملء الأنابيب المنخلية بالمواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي وقد أيد هذا الاقتراح (Pflüger and Mengel, 1972) اللذان لاحظا زيادة معدل عملية الفسفرة الضوئية (Photophosphorylation) والانتقال الالكتروني في عملية التركيب الضوئي في النباتات المجهزة تجهيزاً جيداً بالبوتاسيوم .

إن الـ ATP ليس فقط يكون مهماً في تجمع المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي في الانابيب المنخلية ولكن أيضاً لعملية تمثيل غاز ثاني اوكسيد الكربون وانتقال نواتج تمثيله وتكوين المركبات ذات الاوزان الجزيئية الكبيرة فقد وجد أن هناك أكثر من 60 انزيماً لا تكون فعالة او حتى قد لا تكون في حالة غياب البوتاسيوم (Evans and Wildes, 1971) وهذا يوضح بأن هناك علاقة بين تواجد البوتاسيوم في النبات وبين عملية تكوين البروتين حيث وجد تجمع للسكريات والاحماض الامينية ذات الاوزان الجزيئية الواطئة في حالة نقص البوتاسيوم . كما لوحظ انه في حالة النقص الشديد حدث تجمع للامينات السامة مثل putrescine و agmatine (Nowakowski, 1971) أن الـ agmatine يتكون من الـ arginine نتيجة تحرر CO_2 من الاخير كما يتضح ذلك فيما يلي : -



وبعد ذلك يمكن للـ agmatine أن يتحول الى Carbamylputrescine والذي بدوره يتحلل مائياً الى Putrescine ، Carbamic acid كما يلي :



وقد اوضح (Smith and Sinclair, 1967) أن مثل هذه التفاعلات تحفز عندما تزداد حموضة الخلايا النباتية أي بانخفاض الـ pH وهذا يحصل عندما يكون هناك نقصاً بالبوتاسيوم . وبالفعل فقد وجد تجمع لهذه الامينات السامة في الاوراق القديمة بشكل خاص والتي يظهر فيها نقص عنصر البوتاسيوم اولاً . ولكن هل أن تجمع هذه الامينات السامة في الاوراق القديمة للنبات هي المسؤولة عن ظهور أعراض نقصه عليها فهذا يحتاج الى توضيح والى المزيد من الدراسة .

بالاضافة الى امكانية تجمع الامينات السامة والى تراكم الاحماض الامينية ذات الاوزان الجزيئية المنخفضة والتي تؤيد كلها أهمية البوتاسيوم في عملية تكوين البروتين فقد تبين أهميته في عملية تثبيت النتروجين الجوي في العقد الجذرية للنباتات البقولية وكذلك الى عدم صعود الـ Malate الى أعلى بل نزولها الى أسفل باتجاه الجذور والتي تتحلل الى HCO_3^- والتي يمكن استبدالها بالنترات (NO_3^-) والى أهمية البوتاسيوم في تنشيط أنزيم الـ Nitrate reductase والمهم في عملية اختزال النترات بداخل النبات وبالتالي تحويلها الى NH_3 والتي بدورها ترتبط مع حامض عضوي كيتوني لتكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر حجر الاساس في تكوين البروتينات . وكذلك الدراسات التي اوضحت أهمية البوتاسيوم في فصل البروتين المتكون حديثاً عن الرايبوسوم وبالتالي إتاحة الفرصة لتكوين

بروتين جديد . كل ذلك يوضح مدى العلاقة بين عنصر البوتاسيوم وعملية تكوين البروتين .

ولهذا السبب فإنه لرفع كفاءة النباتات للاستفادة القصوى من الدفعة الأخيرة من السماد النتروجيني وتحسين نوعية الحاصلات الزراعية لابد من الاهتمام والعناية بضرورة تواجد البوتاسيوم أو حتى بإضافته للنبات مع الدفعة الأخيرة من السماد النتروجيني إذا مادعت الحاجة الى ذلك وتبين أن التربة فقيرة بالبوتاسيوم الجاهز وغير كاف لسد حاجة النبات في هذه المرحلة . هذا على درجة كبيرة بالنسبة لتحسين نوعية الحنطة وكذلك بالنسبة لمحاصيل البطاطة والبنجر السكري وقصب السكر والتي يكون فيها البوتاسيوم ضرورياً لعملية نقل نواتج عملية التركيب الضوئي وعملية الملء في الاجزاء الخازنة فيها . وبالنسبة لهذه المحاصيل التي يكون حاصلها الاقتصادي هو الكربوهيدرات فهنا يجب أن تكون كميات النتروجين المضافة لها وخاصة الدفعة الأخيرة منه ليست عالية او متأخرة والا انعكست سلباً على حاصلها من الكربوهيدرات بسبب زيادة نسبة البروتين فيها .

3 - من حيث علاقة البوتاسيوم في رفع كفاءة النبات في عملية التركيب الضوئي فقد وجد أن نقصه يؤدي الى تدهم البلاستيدات الخضراء وكذلك الى أهميته في رفع كفاءة النبات وتسهيل عملية تكوين الـ ATP والذي ينعكس تأثيره ايجابياً على عملية التركيب الضوئي ونقل نواتجها من أماكن تكوينها الى حيث ما يحتاج النبات اليها وكذلك الى تجمع الكربوهيدرات ذات الاوزان الجزيئية الواطئة وعدم تكون الكربوهيدرات ذات الاوزان الجزيئية العالية في حالة نقصه . كما وجد أنه لكي تقوم الماييتوكوندريا بوظيفتها على اكمل وجه فإنها تحتاج أيضاً الى البوتاسيوم والمعروف أن الماييتوكوندريا هي المكان الذي تحدث فيه عملية الأكسدة النهائية وكما سبق أن أشرنا بأن كثيراً من الـ ATP المتكونة في النبات تنتج في الماييتوكوندريا .

4- لقد وجد ان البوتاسيوم الى جانب الفسفور يساعد النباتات وخاصة النباتات النجيلية على مقاومة عملية الرقاد (الاضطجاع) نتيجة لمساعدته في تكوين الخلايا السكلار انكيمياية وبذلك تكون الخلايا أكثر سمكاً ، بالإضافة الى ذلك فإن النباتات التي تعاني من نقص البوتاسيوم تظهر نقصاً في الانتفاخ فتكون الخلايا رخوة غير صلبة وعليه تكون مقاومة النباتات ضعيفة لظروف الجفاف كما تكون أكثر حساسية لضرر الصقيع والملوحة كما يسهل مهاجمتها من قبل الفطريات (Pissarek 1973) .

(ج) موعد وكيفية اضافة السماد البوتاسي :

تضاف الاسمدة البوتاسية عادة بدفعة واحدة مع جميع كمية السماد الفوسفاتي والدفعة الاولى من السماد النتروجيني عند الزراعة او قبل الزراعة نثرا باليد او مع البادرة المسمدة . غير انه للترب الطينية الثقيلة ذات المحتوى العالي من معادن الطين 1:2 مثل الايليت والمونتموريليونيت وخوفا من عملية تثبيت البوتاسيوم بين رقائقها أو تبادله على سطوحها بشكل كبير وجعله انيا غير جاهز للنباتات فانه ينصح ويفضل عدم اضافته نثرا وخلطه بالتربة واصافته تلقيا في جور بالقرب من النباتات او البذور . اما في حالة الترب الخفيفة وخوفا من عملية الفقد الكبيرة التي قد تحدث له في هذه الحالة فانه يفضل اضافته على دفعات خوفا من فقده بعملية الغسل (Leaching) ، حيث ان عدد هذه الدفعات يتوقف على نسجة ونوع التربة ومحتواها من الطين والدبال وعلى نوع النبات والنوعية المطلوبة فعلى سبيل المثال يتحتم وجود البوتاسيوم بكمية كافية لرفع كفاءة نباتات الحنطة للاستفادة من الدفعة الاخيرة من السماد النتروجيني لتحسين نوعيته اما بالنسبة للشعير فيعتمد على الهدف من الزراعة (لغرض العلف ام لغرض الصناعة) ... الخ . وبالنسبة لاشجار الفاكهة او الاشجار المعمرة عموما ذات الجذور العميقة فلا فائدة من اضافة السماد البوتاسي نثرا او خلطة بالطبقة السطحية حيث لا تستفيد منه الاشجار في هذه الحالة وخصوصا اذا كان محتواها غالي من الطين وخاصة من نوع (1:2) . ولهذا يجب اضافته على اعماق مناسبة بحفر جور حول الشجرة واصافته فيها مع المراجعة التامة بعدم اتلاف جذور الاشجار .

اما أهم الاسمدة البوتاسية واكثرها شيوعا في الاستخدام فهي كبريتات البوتاسيوم وكلوريد البوتاسيوم .

وبالنسبة لظروف العراق حيث الملوحة في التربة فلا ينصح باستخدام سماد كلوريد البوتاسيوم حيث يزيد في هذه الحالة من ملوحة التربة وحتى في الترب غير الملحية فهناك نباتات حساسة للكلوريد مثل محاصيل التبغ والعنب واشجار الفاكهة والقطن والقصب السكري والبطاطا والطماطة والخيار والبصل والشليك (الفراولة Strawberry) . كما تجدر الاشارة اليه انه بالنسبة للمحاصيل التي تكون فيها تجمع الكربوهيدرات من العوامل المهمة في تكوين حاصلها الاقتصادي فيجب التسميد دائما بسماد كبريتات البوتاسيوم لان ايون الكلوريد يعرقل انتقال المواد الناتجة من عملية التركيب الضوئي الى الدرنات . إن ما ينطبق على محصول البطاطة ينطبق على كل المحاصيل والتي تشكل فيها السكريات او الكربوهيدرات الجزء الاساسي او الرئيسي لحاصلها الاقتصادي مثل البنجر السكري او قصب السكر ... الخ .

(د) اعراض نقص البوتاسيوم :

إن النباتات التي تأخذ حاجتها من البوتاسيوم تكون قوية ويلاحظ زيادة عدد ازهارها وعلى هذا الاساس فإن اعراض نقص البوتاسيوم يمكن تلخيصها فيما يلي :

- (1) ضعف المجموع الجذري للنبات وبالتالي ضعف عام للنبات .
- (2) قلة عدد الازهار .
- (3) تتلون الاوراق بلون بني داكن مع احتراق حواف الاوراق وفي الحالات المتقدمة قد يحدث احتراق لجميع الورقة وغالبا ما تكون على شكل رقم ٨ . وعموما فإن احتراق قمة وحواف الاوراق وذبولها وتجعدها هي الصفة المميزة لنقص البوتاسيوم على معظم النباتات .

النجليات

تكون السنابل بيضاء اللون مع التفاف نهاية الورقة وانعافها كالخطاف وتكون النباتات معرضة بشدة للرقاد .

اشجار الفاكهة

بالاضافة الى الاعراض النموذجية السابقة فإن الثمار تكون صغيرة الحجم ولونها غير طبيعي والثمرة متصلبة وزيادة نسبة الحموضة مع انخفاض نسبة السكر وانخفاض فيتامين C .

فمثلا لوحظ في حالة المشمش قلة عدد الازهار وبالتالي انخفاض عدد الثمار علاوة على صغر حجمها . وعموما الثمار المخزونة او اثناء نقلها تكون عرضة للتلف بسبب تعرضها للتعفن مقارنة بالثمار التي كانت اشجارها مغذاة بصورة جيدة بالبوتاسيوم كما انها تكون طرية مثل الطماطة والخيار والخوخ .

العنب

يلاحظ صغر حجم العنقود مع جفاف حبات العنقود بحيث انها تشبه الزبيب والذي يعود الى سحب الاوراق للماء من حبات العنقود في حالة وجود نقص للماء في النبات .

الحمضيات

تكون قشرة الثمرة او اغلاقها رقيقا وممزقا مع صغر حجمها .

البطاطا

الغناء جواف الاوراق حيث تكون ملعقية الشكل مع تنخر حوافها ويميل لون النبات الى اللون البرونزي . كما تظهر ظاهرة الاسوداد (Blackening) على الدرنات حيث تكون مسودة عند طهيها أو سوداء مزرقة بعد قطعها وتركها لفترة زمنية معينة .

الذرة الصفراء

يحدث تنخر على قمة الورقة وامتداد حوافها وتظهر الاعراض بشكل رقم ٨ .

الجت

تظهر سلسلة من البقع البيضاء بالقرب من حواف الاوراق القديمة وتكون حواف الاوراق مصفرة ومجمدة ومنحنية للأسفل .

إن زيادة البوتاسيوم قد تؤدي الى ظهور اعراض نقص الكالسيوم كما هو الحال في ظهور مرض النقرة المرة (Bitter Pit) في التفاح والذي يتميز بظهور بقع بنية او قهوائية قد تمتد الى داخل لحم الثمرة .

كما أن زيادته قد تسبب تعفن الطرف الزهري (Blossom end rot) وخاصة في الطماطة والفلفل والباذنجان وهناك دراسات لعلاقة نقص الكالسيوم بتعفن الطرف الزهري للرقى والبطيخ والذي قد يتسبب نتيجة الافراط في اضافة السماد البوتاسي .

أما نقص البوتاسيوم في الطماطة فتكون نهاية الثمرة خضراء صلبة ذات مذاق غير مستحب عادة (Greenback) .

(هـ) علاج اعراض نقص البوتاسيوم

تضاف الاسمدة البوتاسية اما للتربة أو رشا على النباتات حيث يستخدم سماد نترات البوتاسيوم رشا على اشجار الفاكهة ومحاصيل البستنة الأخرى بصورة رئيسية . ويجب الا يزيد محلول الرش عن تركيز 2-5% خوفاً من حدوث سمية وحروق على الاوراق .

4.1.7 - الكبريت (S) Sulphur or Sulfur

(أ) فكرة عامة :

يوجد الكبريت في التربة على شكل عضوي وكذلك على شكل غير عضوي اي معدني وتقدر كمية الكبريت المعدني بمحدود 0.11% كمكون في القشرة الارضية (Lithosphere) وتشكل الصورة العضوية حوالي 50% من الكبريت الكلي كما هو الحال في ترب البدزول (Podzol) وقد تصل الصورة العضوية الى مايقارب من 75% من الكبريت الكلي في ترب الشيرنوزيم السوداء (Chernozem) الخصبة . ويعتبر الكبريت العضوي هو المخزن الرئيسي لكبريت التربة (Reisenaur et al., 1973), (Scott and Anderson, 1976), هذا ويمكن تقسيم الكبريت العضوي الى قسمين :

أ - الكبريت المرتبط بالكربون (Carbon bonded sulphur)

ويشمل الكبريت العائد للاحماض الامينية والذي تبلغ نسبته حوالي 50% من كمية الكبريت العضوي الكلية .

ب - الكبريت غير المرتبط بالكربون (Non-Carbon bonded sulphur)

ويضم (Phenolic sulphates), (Choline sulphates) والكبريت الداخل في الدهون مثل المركبات الطيارة كزيت الخردل المتواجد بكثرة في العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنابيط والكلم وكذلك في العائلة الزنبقية كالشوم والبصل والكرات وايضا في الفجل والذي يعود اليه الطعم الحريف اللاذع والذي يسبب التدمع (Lachrymatory) . كما ان نباتات العائلة البقولية كالفول والحمص والعدس تعتبر غنية بالكبريت وهذا طبيعي لدخول الكبريت في تكوين البروتينات والمعروف ان النباتات البقولية غنية بالبروتينات .

اما الكبريت المعدني فيوجد في التربة بصورة أساسية على شكل الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم غير المائية CaSO_4 (Anhydrate) . او على صورة الجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Gypsum) ، كما انه قد يوجد على هيئة كبريتات المغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم وخاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة .

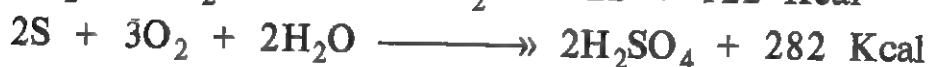
وتحت الظروف الرطبة فالكبريتات توجد اما في محلول التربة او متبادلة على سطوح غرويات التربة . ويزداد تبادل الكبريتات بزيادة تركيز ايونات الهيدروجين اي بانخفاض درجة تفاعل التربة الـ (pH) ، كما ان معادن الطين من نوع 1:1

مثل الكاؤولينيت (Caolinite) تكون قدرتها على امدصاص (تبادل) الكبريتات أكثر من معادن الطين 1:2 مثل المونتموريللونيت (Montmorillonite).

اما تحت الظروف الغدقة اللاهوائية فيوجد الكبريت المعدني على شكل مختزل مثل FeS او FeS_2 اي البيرايت (Pyrites) او كبريتيد الهيدروجين (H_2S). وفي المناطق المعتدلة يكون المحتوى الكلي من الكبريت من 0.005 الى 0.04 %.

إن محتوى كبريت التربة يتوقف على محتوى التربة من الطين والمادة العضوية وكذلك على pH واحياء التربة والظروف المناخية. حيث تحت الظروف الرطبة قد تغسل كميات كبيرة من الكبريتات في حين في المناطق الجافة وشبه الجافة كما سبق ذكره تتجمع الاملاح المحتوية على الكبريتات في طبقة التربة السطحية كما هو الحال عليه في وسط وجنوب العراق.

إن الكبريت العضوي كما في حالة النتروجين والفسفور العضوي يكون غير جاهز لتغذية النبات ولذلك فلن يكون جاهزا للنبات يجب ان تحدث له اولا عملية معدنة (Mineralization) وهذا يتم بواسطة بكتيريا الكبريت حيث يتكون H_2S والذي بدوره يتأكسد الى SO_4^{2-} تحت الظروف الهوائية. اما في الوسط غير الهوائي فان H_2S يتأكسد الى S بواسطة بكتيريا الكبريت من نوع (Beggiotoa, Thiobacillus). إن خضوع البكتيريا تستطيع ايضا أن تؤكسد S الى H_2SO_4 تحت الظروف الهوائية. إن S يتأكسد أيضا بواسطة البكتيريا من جنس (Thiobacillus) كما يتضح ذلك من المعادلات الآتية :-



ويتضح من المعادلات تكون حامض الكبريتيك نتيجة لذلك وهذا يؤدي الى زيادة حموضة التربة. ومثل هذا التفاعل يكون على درجة كبيرة من الأهمية خاصة بالنسبة للترب العراقية او التي يميل تفاعلها الى القلوية الخفيفة، إن تعديل تفاعل التربة يعني زيادة جاهزية التربة من العناصر الغذائية وخاصة العناصر الغذائية الصغرى بالإضافة الى زيادة جاهزية فسفور التربة وزيادة تحركه في التربة.

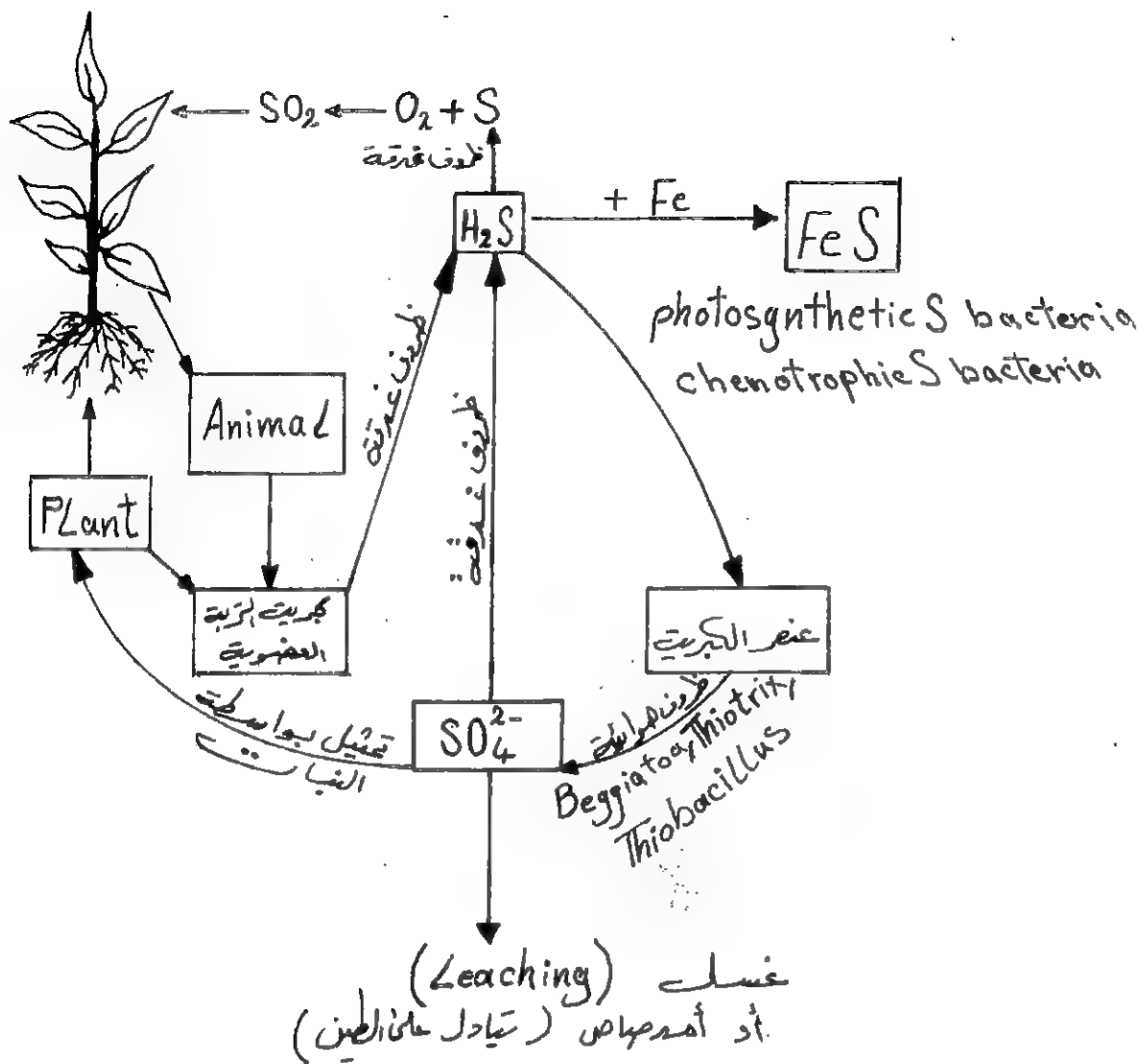
أما تحت الظروف الغدقة اللاهوائية مثل حقول الرز فتتأكسد المادة العضوية إلى H_2S وهذا يمكن ان يتأكسد أكسدة غير هوائية إلى S بواسطة بكتيريا الكبريت الخضراء والارجوانية والتي يمكنها أن تقوم بعملية التركيب الضوئي حيث تستغل الهيدروجين الموجود في الـ H_2S بدلا من الماء . وهنا عندما تعاق هذه العملية من التحول يحدث تجمع للـ H_2S وقد يكون ساما للنبات .

ويمكن ان يخفض من حدته أي يقلل من التأثير السمي للـ H_2S وذلك باضافة املاح الحديدوز والتي تكون FeS الذائب كما أشار الى ذلك (Connell and Patrick, 1969) أن قسما من H_2S قد يتحرر الى كبريت ويتطاير الى الجو وهذا يمثل جزء من كبريت التربة وهذا الجزء يمكن ان يتأكسد بعد ذلك مع اوكسجين الهواء الجوي ويتحول الى غاز SO_2 والذي ينزل للتربة مع ماء المطر او قد يؤخذ من النباتات مباشرة عن طريق اجزائها الهوائية . وهناك دراسات بأن نبات القطن استطاع ان يغطي حوالي 30% من احتياجاته من الكبريت عن طريق امتصاصه لغاز SO_2 من الهواء الجوي . ويقدر تركيز SO_2 في الهواء الجوي من 0.1 الى 0.2 ملغم / م³ والتركيز الحرج منه في الهواء الجوي والذي قد يسبب سمية للنباتات هو من 0.5 الى 0.7 ملغم SO_2 / م³ .

إن التأثير السمي للكبريت يتوقف بطبيعة الحال على نوع النبات . اما القسم الآخر من H_2S فيتأكسد هوائيا الى كبريتات SO_4^{2-} وهذه اما ان تمتص من قبل النباتات او تمثل في اجسام احياء التربة المجهريه او تدمص (تتبادل) على سطوح غرويات التربة من (الطين والديال) او قد تغسل بعيدا عن منطقة جذور النبات وتحت الظروف الغدقة اللاهوائية كما هو الحال في حقول الرز فقد تستغل البكتيريا الكبريت الموجود في الـ FeS والذي يتأكسد بيولوجيا وكيمياويا كالاتي : -



إن الكبريتات الممثلة من قبل النباتات و احياء التربة تصبح جزءا من كبريت دبال التربة ولكي تستفيد منه النباتات يجب ان يحدث له عملية تعدين من جديد وهكذا نلاحظ ان هناك دورة للكبريت كما في حالة النتروجين .
والشكل (7-9) يوضح دورة الكبريت في الطبيعة .



شكل (7-9) دورة الكبريت في الطبيعة
عن : (Mengel and Kirbky, 1982).

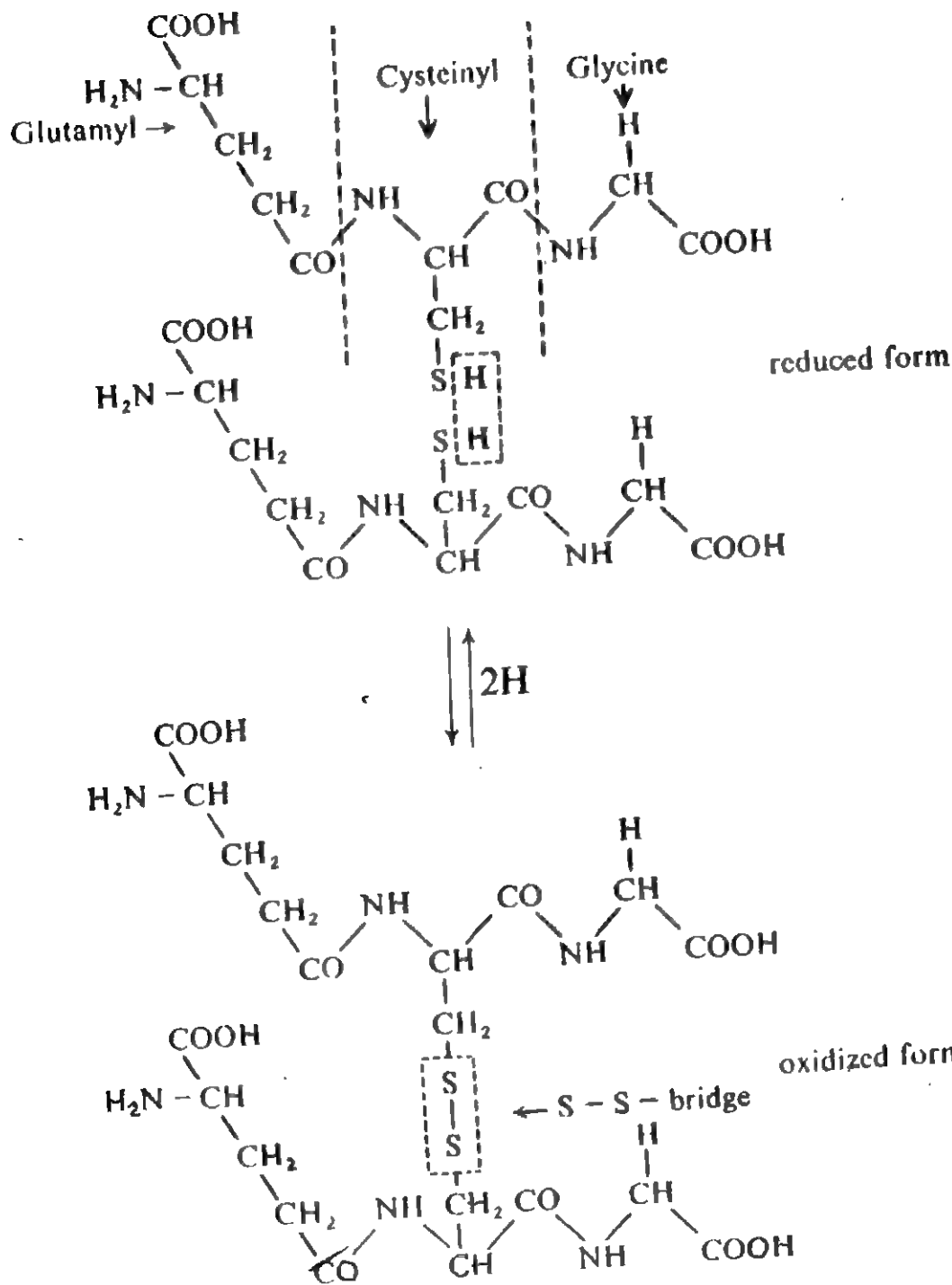
إن مقدار ما ينزل من الكبريت مع ماء المطر يخضع لتذبذب كبير حيث يتوقف على المناطق الصناعية وكمية الأمطار واختلافها من موسم إلى آخر ويقدر (1952, Eriksson) ذلك بحوالي 1-65 كغم S / لدونم. وتحت الظروف الأوربية الصناعية يقدر ما ينزل مع ماء المطر بحوالي 10-25 كغم S / دونم. كما تقدر كمية الكبريت التي تغسل من التربة بحدود 5-25 كغم S / لدونم.

(ب) وظائف الكبريت

(1) يدخل الكبريت في تكوين البروتين حيث أنه يدخل في تكوين الأحماض الأمينية التالية :

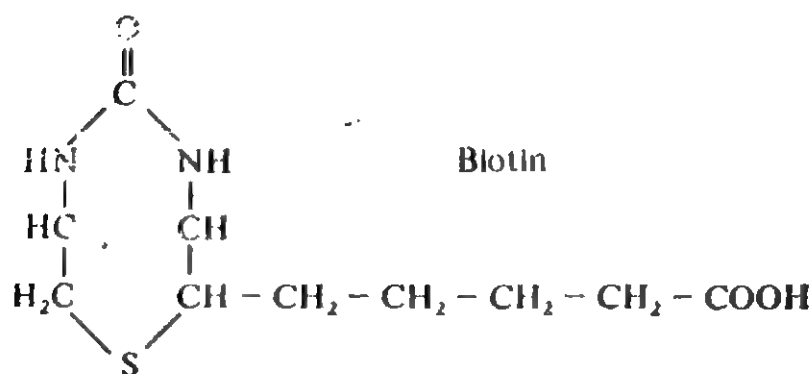
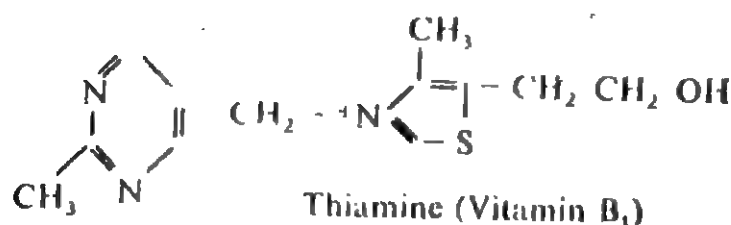
لجزيئة اخرى من الكلوتاثيون . وهذا يعني أن جزيئة واحدة من الكلوتاثيون غير مؤهلة للدخول في عمليات الاكسدة والاختزال بل يجب أن يشترك جزيئان من الكلوتاثيون للتمكن من القيام بهذه الوظيفة المهمة . وبما أن الكلوتاثيون ذو قابلية عالية للذوبان في الماء فإن الكلوتاثيون يلعب دورا أكثر اهمية في التفاعلات الايضية من النظام التأكسدي الاختزالي العائد للنظام Cystine / Cysteine .

Glutathione

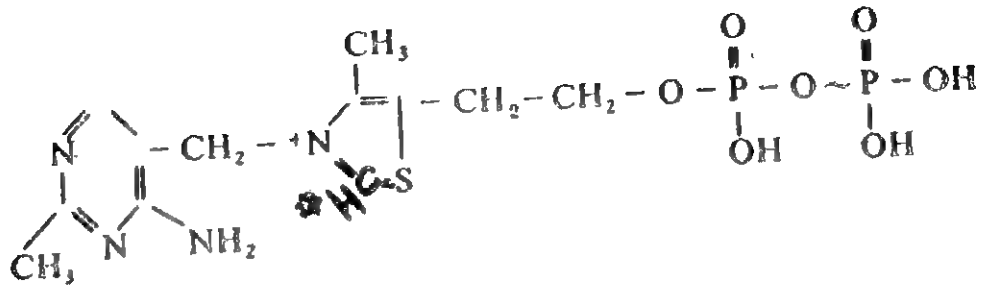


الكلوتاثيون Glutathione

3) يدخل الكبريت في تكوين الـ Lipoic acid وكذلك في تكوين CoASH وفيتاميني البيوتين والثيامين (Biotin, Thiamine) وهذه المركبات المحتوية على الكبريت تعتبر على درجة كبيرة من الأهمية لما تقوم به من أدوار هامة في التفاعلات الأيضية التي تحدث في النبات فمثلا يشترك كل من الـ Lipoic acid والـ CoASH والمركب المشتق من الثيامين والذي يسمى بالـ Thiamine pyrophosphate (TPP) وبمساعدة مرافق الإنزيم NAD في عملية فصل (أي تحرر) ثاني أكسيد الكربون من الأحماض الكيتونية في دورة كريبس (Krebs Cycle) أو كما في حالة تحول حامض البايروفيك (Pyruvic acid) إلى AcetylCoA ($\text{CH}_3\text{-C-sCoA}$) والتفاعل الأخير يعتبر نقطة البداية في دورة كريبس نفسها عندما تقوم بتحويل حامض الـ Oxaloacetic acid إلى حامض الستريك (Citric acid). ومن هنا يتبين استحالة قيام النبات بهدم الكربوهيدرات والحصول منها على الطاقة اللازمة له في تفاعلاته الحيوية في حالة وجود نقص أو غياب الكبريت. كما يلعب البيوتين دورا مهما حيث يقوم بتثبيت CO_2 على الـ Acetyl CoA بمساعدة الـ ATP وأنزيم الـ Carboxylase الذي يدخل في تكوينه المنغنيز لتكوين الـ Malonyl CoA والذي يعتبر نقطة البداية في تكوين الأحماض الدهنية. وفيما يلي التركيب الكيميائي للمركبات السابقة الذكر مع توضيح أهم التفاعلات التي تقوم بها.



ومن الثيامين يشتق مساعد الإنزيم TPP وذلك باستبدال مجموعة الـ OH بمجموعة الـ Pyrophosphate كالآتي:

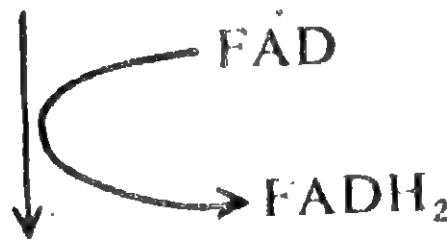
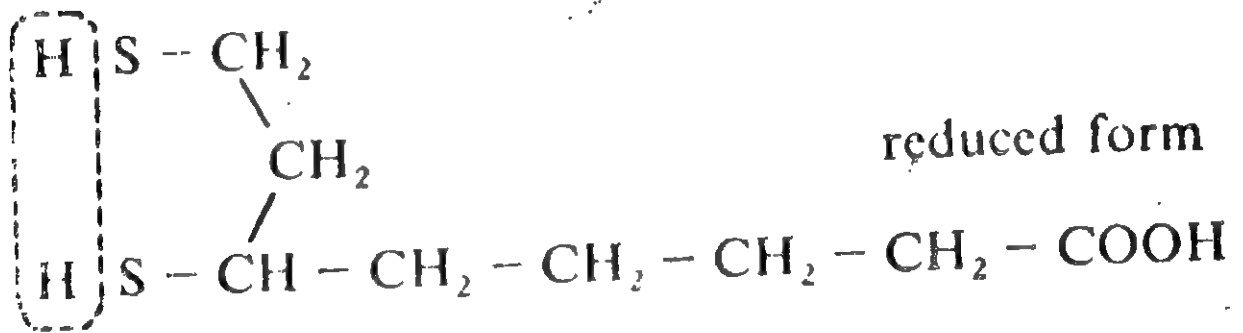


Thiamine Pyrophosphate

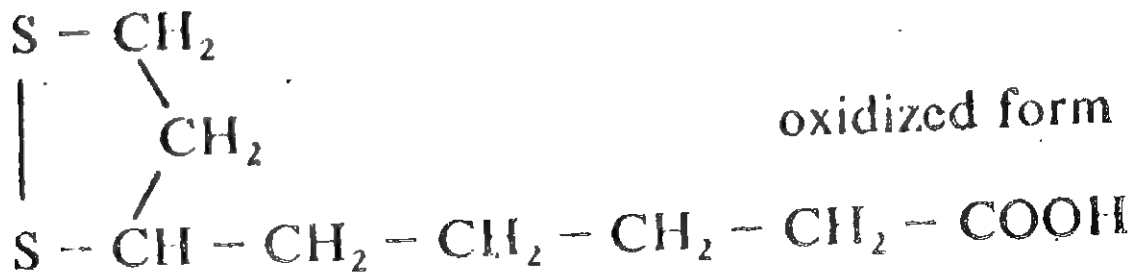
ان ذرة الهيدروجين المؤشرة هي النشطة والفعالة والتي عن طريقها تم دخول او اشتراك الـ (TPP) في عملية فصل جزيء CO_2 أي (Decarboxylation) من الاحماض الكيتونية في دورة كريبس او من حامض البايروفيك .

Lipoic acid

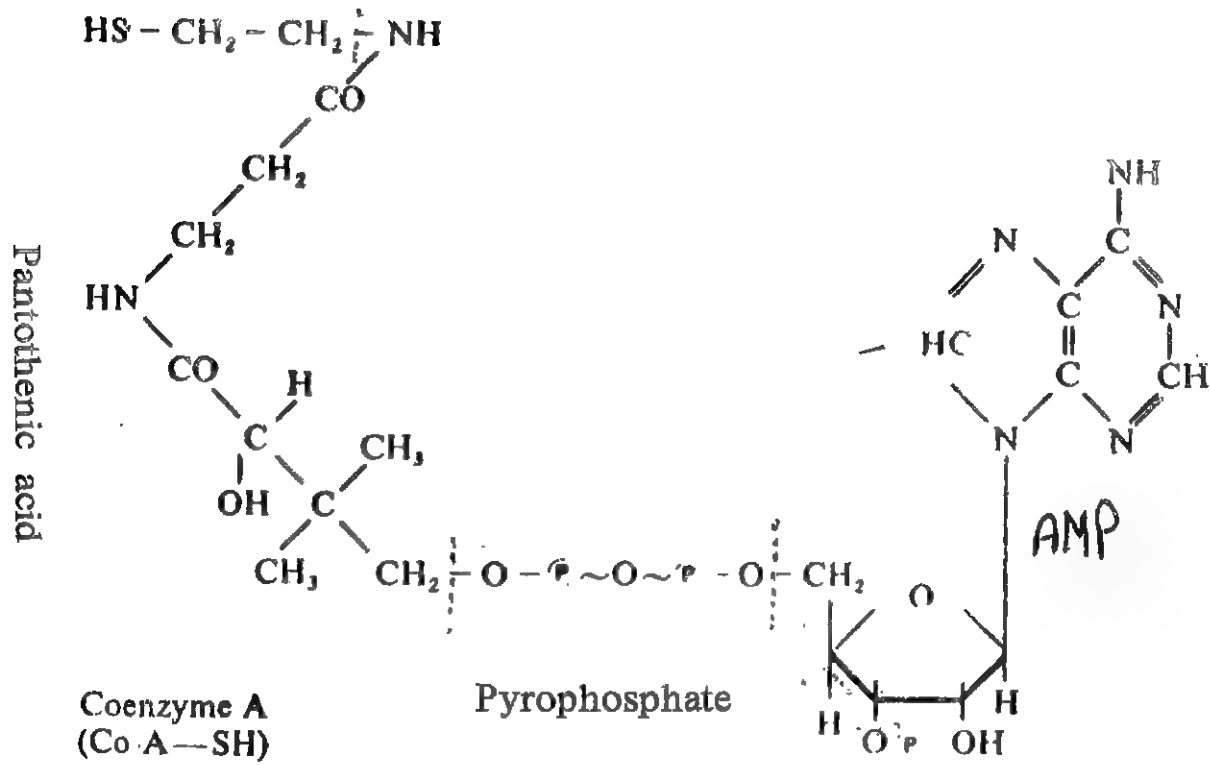
الصورة المختزلة



الصورة المؤكسدة

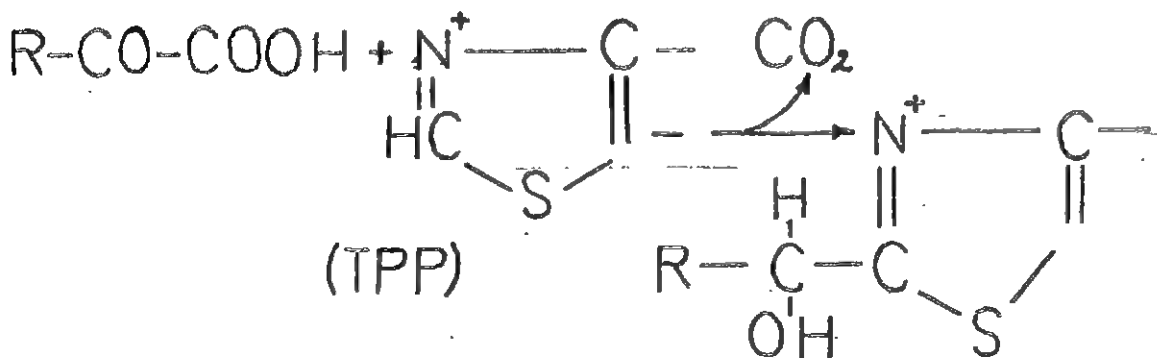


أما الـ Lipoic acid فيعمل أيضا كمساعد للإنزيم كما في حالة (TPP) والـ (CoA SH) والتي تشترك جميعها في عملية فصل غاز CO_2 من الأحماض الكيتونية في دورة كريبس .

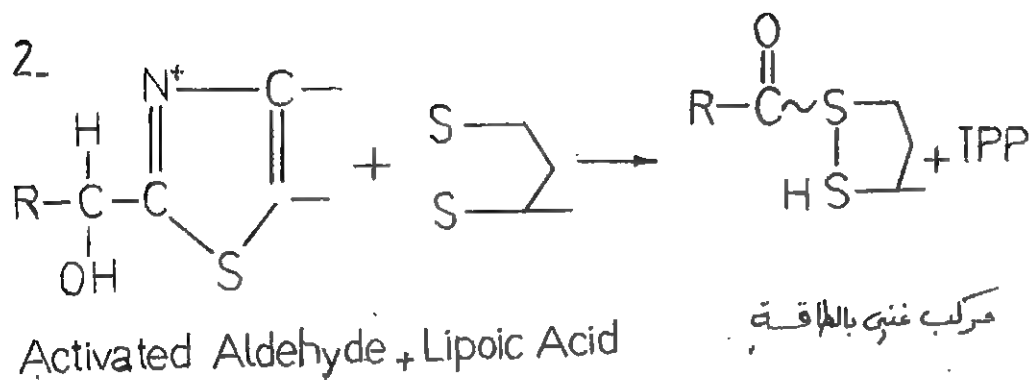


إن الجزء الفعال في مساعد الإنزيم CoASH هو مجموعة الـ SH ويمكن توضيح ما شرح عن دور المساعدات الانزيمية السالفة الذكر بالمعادلات الآتية :

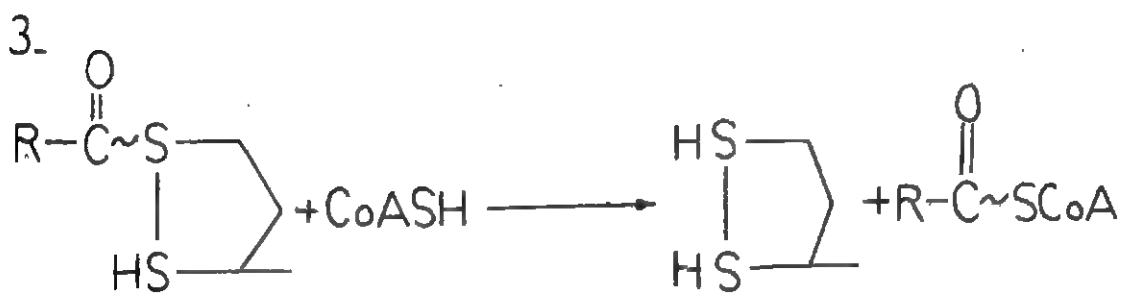
1-



ويكتفى بكتابة او رسم الجزء الفعال من مساعد الانزيم (TPP) لسهولة توضيح المعادلات . ويكون نتيجة تفاعل الحامض الكيتوني مع مساعد الانزيم TPP هو تحرر غاز CO_2 وتكون الدهيد منشط Activated aldehyde



ويتفاعل الالدهيد المنشط مع مساعد الانزيم (Lipoic acid) مكونا مركبا غنيا بالطاقة وينفصل الـ TPP من التفاعل ثانية .

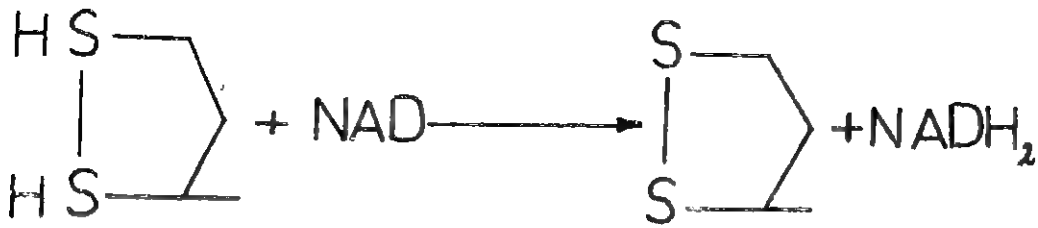


حامض منشط
 (activated acid)
 (Acetyl CoA)

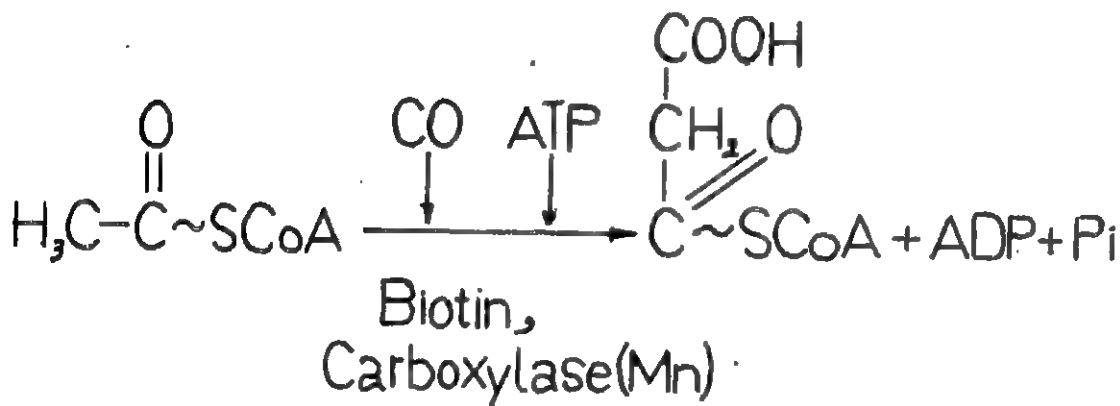
مركب غني بالطاقة

اما المركب الغني بالطاقة فيتفاعل مع الـ CoASH لتكوين حامض منشط وتنفصل الصورة المختزلة لمساعد الانزيم Lipoic acid

4-

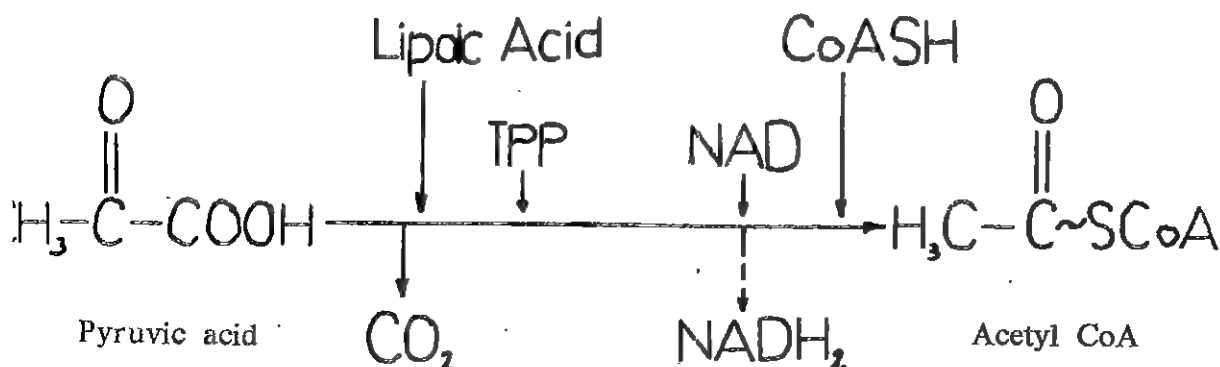


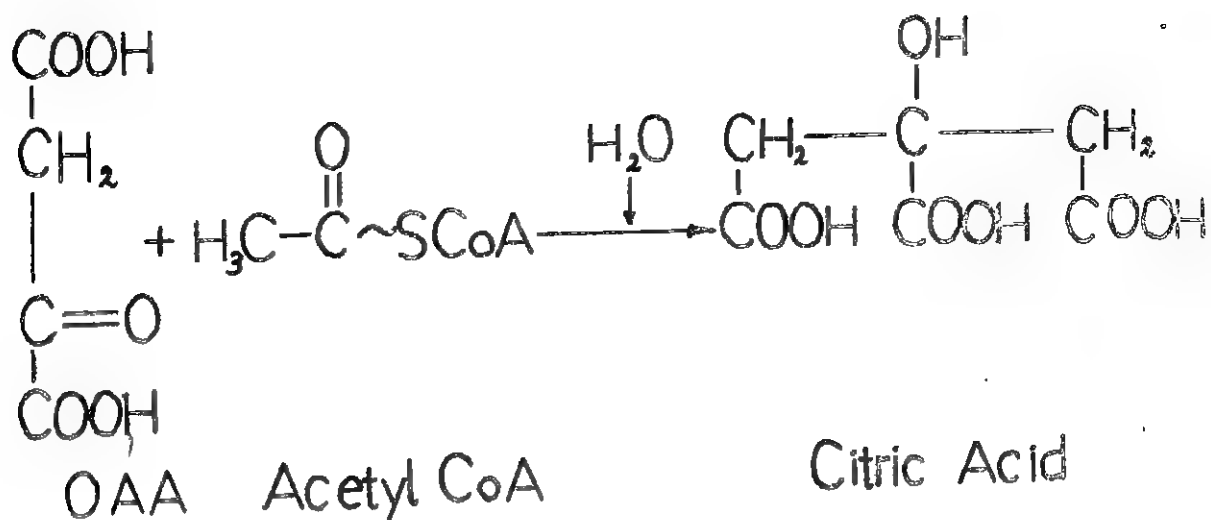
ويقوم الـ NAD^+ بأكسدة الصورة المختزلة لـ Lipoic acid الى الصورة المؤكسدة لهذا المركب وتحتزل هي بدورها الى الـ NADH_2 وهكذا يمكن ان تعاد الدورة من جديد وتكون نتيجة هذه الخطوات هي تحرير CO_2 من الاحماض العضوية الكيتونية ويطلق على عملية فصل CO_2 بهذه الطريقة الـ (Oxidative decarboxylation)



Acetyl CoA Carboxylase (Mn) Malonyl CoA

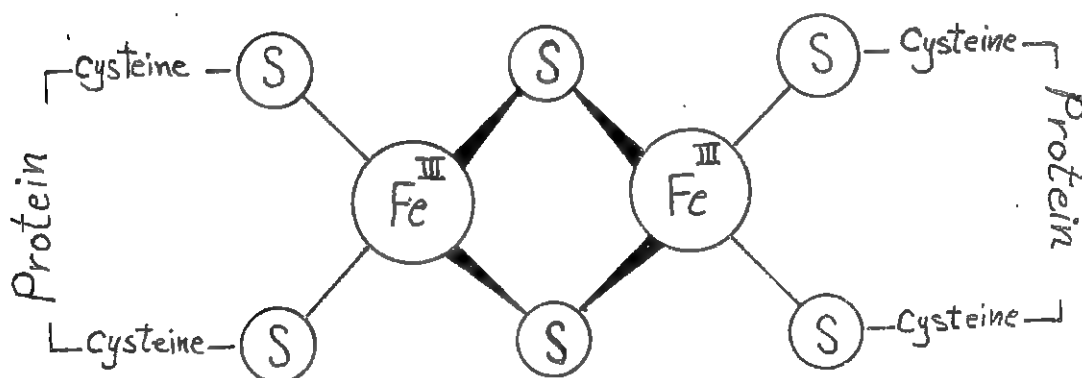
ومن هنا يتبين دور البيوتين او بالاصح دور الكبريت في تكوين الاحماض الدهنية حيث ان نقطة البداية في تكوين الاحماض الدهنية هو الـ (Malonyl CoA) والمعادلة التالية توضح كيفية تحول حامض البايروفيك الى الـ Acetyl CoA





ويعتبر التفاعل السابق هو نقطة البداية في دورة كريبس كما سبق ذكره .
 (4) يدخل الكبريت في تكوين الـ (Ferredoxin) وهو عامل مختزل قوي حيث وجد ان بإمكانه ان يمثل الكترود الهيدروجين وتقدر قوته الاختزالية بما يعادل (-432 mV) وهو يشترك في عملية اختزال النترات كما انه يعتبر احد مكونات سلسلة النقل الالكتروني للنظام الضوئي رقم I في عملية التركيب الضوئي ، كما انه يستطيع اختزال الاوكسجين و N_2 وكذلك يمكن اختزال الـ NADP الى NADPH_2

والشكل (7-10) يوضح تركيب الـ Ferredoxin



شكل (7-10) تركيب الـ Ferredoxin الشكل المؤكد عن : (Hall et al, 1971)

لقد اوضح (Boardman, 1975) بأن البلاستيدات الخضراء تحتوي على الـ (Ferredoxin) بشكل ذائب . وكما يتضح من الشكل فإن الـ (Ferredoxin) يحتوي على ذرتين من الحديد وكذلك على ذرتين من الكبريت المعدني في كل جزيئة . وما تجدر ملاحظته أن الحديد في الصورة المؤكسدة يوجد على شكل حديد ثلاثي التكافؤ في كلا الذرتين بينما احد الذرتين في الصورة المختزلة تكون على هيئة

حديد ثنائي التكافؤ . ولهذا فإن الـ Ferredoxin الذائب يعمل كمستقبلا اي حاملا لالالكترون واحد . كما يلاحظ من الشكل بأن الحديد مرتبط بأحداثيات مع ذرات الكبريت العائدة للـ Cysteine وكذلك الى الكبريت . ويبلغ الوزن الجزيئي للـ 12000 Ferredoxin كما اشار الى ذلك (Hall et al, 1971) .

لقد أوضح (Boardman, 1975) بأن البلاستيدات الخضراء تحتوي على الـ (Ferredoxin) بشكل ذائب . وكما يتضح من الشكل فإن الـ (Ferredoxin) يحتوي على ذرتين من الحديد وكذلك على ذرتين من الكبريت المدمج في كل جزيئة . وما تجدر ملاحظته ان الحديد في الصورة المؤكسدة يوجد على شكل حديد ثلاثي التكافؤ في كلا الذرتين بينما احد الذرتين في الصورة المختزلة تكون على هيئة حديد ثنائي التكافؤ . ولهذا فإن الـ Ferredoxin الذائب يعمل كمستقبلا اي حاملا لالالكترون واحد . كما يلاحظ من الشكل بأن الحديد مرتبط بأحداثيات مع ذرات الكبريت العائدة للـ Cysteine وكذلك الى الكبريت . ويبلغ الوزن الجزيئي للـ 12000 Ferredoxin كما اشار الى ذلك (Hall et al, 1971) .

(5) ان تكوين رابطة (S — S bond) في الببتيدات المتعددة والبروتينات تعتبر وظيفة مهمة وضرورية للكبريت في الكيمياء الحيوية وفلسجة النبات فهي تعمل على تثبيت بناء البروتين .



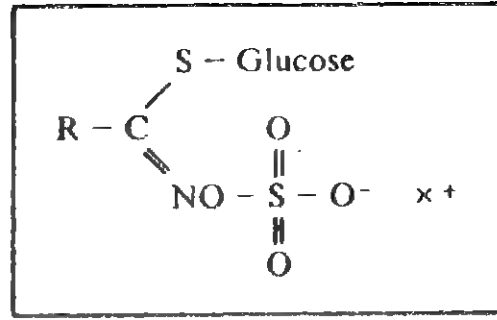
(6) بعض انواع النباتات تحتوي على الكبريت بكميات كبيرة كما في نباتات العائلة الصليبية مثل اللهاية والقرنبيط واللفت (الشلغم) او نباتات مثل البصل المسؤول عن عامل التدمع (Lachrymatory) او رائحة الثوم او الطعم الحريف او اللاذع مثل النجل والكراث .

كما ان النباتات التابعة للعائلة البقولية تعتبر ذات محتوى عال نسبيا من الكبريت مقارنة بالنباتات النجيلية .

ان زيت الخردل والذي يوجد بصورة رئيسية في نباتات العائلة الصليبية له اهمية خاصة وطبقا لما اشار اليه (Fowden, 1967) بان الاحماض الامينية مثل Glutamic acid و Aspartic acid و Alanine و Serine هي الاساس الذي يتكون منه زيت الخردل .

وكما موضح في التركيب العام لزيت الخردل (Mustard Oil Glucosides) يظهر بان الكبريت يتواجد بشكلين مختلفين . حيث يوجد على شكل كبريتات وايضا على شكل ذرات كبريت ترتبط مع Glucose .

General formula
for a
mustard oil →



ان المحتوى الاعتيادي للنباتات من الكبريت هو من 0.1-0.5% في المادة الجافة . غير ان النباتات التي سبق التحدث عنها قد تحتوي على اكثر من ١% في المادة الجافة دون ان يمثل ذلك سمية لها .

(ج) اعراض نقص الكبريت

نظرا لدخول الكبريت في تكوين البروتين كالنتروجين فان اعراض الكبريت تشبه الى حد ما اعراض نقص النتروجين . بيد ان نقص الكبريت يظهر اولا على الاوراق الحديثة للنبات لأنه عنصر بطيء الحركة . كما ان جميع نصل الورقة يكون مصفرا بما في ذلك عروق الورقة وتظل الاوراق غضة طرية ولا تجف ولا تتساقط في حين انها تجف وتتساقط في حالة نقص النتروجين . كذلك يحدث تقزم للنبات . ولوحظ وجود سمية في الحمضيات عندما وصل محتوى الكبريت في مادتها الجافة الى 0.5% في حين ان نبات الجت قد نما نموا طبيعيا عندما كان تركيز الكبريت فيه من 0.5-1.5% في مادته الجافة والتأثير السمي بدأ بالظهور عندما زاد تركيز الكبريت عن 2% .

ان النسبة الاعتيادية بين $\frac{N}{S}$ هي في المعتاد من 30 / 1 الى 40 / 1 ولكن في حالة نقص الكبريت في النباتات قد تتوسع النسبة كثيرا فقد تصل من 70 / 1 الى 80 / 1 ، وهذه يمكن استخدامها كدليل لمعرفة ما اذا كانت النباتات تعاني من نقص الكبريت ام لا . فالنباتات التي تعاني من نقص الكبريت يحدث فيها تجمع للنترات والاميدات .

وما تجدر الاشارة اليه انه في معظم الاحيان تكون النباتات صلبة وقابلة للكسر وتبقى سيقان النباتات ضعيفة ويتأثر نمو الاجزاء الهوائية بدرجة اكثر من تأثر نمو الجذور . وفي نباتات العائلة الصليبية تكون الاوراق رفيعة وفي حالة النقص الشديد قد يحدث تحلل للبلاستيدات الخضراء . كما ان السمية بالـ SO_2 تسبب تمزق اغشية البلاستيدات الخضراء .

(د) علاج نقص الكبريت

لا توجد أسمدة خاصة بالكبريت ولكن عادة تحتوي الأسمدة النتروجينية والبيوتاسية مثل كبريتات الامونيوم او كبريتات البوتاسيوم او حتى السماد الفوسفاتي (السوبر فوسفات الثلاثي) والذي يحتوي على ما يعادل ١٪ تقريبا من الجبس الذي يحتوي على الكبريت .

ان استخدام الكبريت الزراعي وخاصة في ترب المناطق التي تميل الى القاعدية مثل ترب وسط وجنوب العراق يعتبر على درجة كبيرة من الاهمية حيث يتحول الكبريت الزراعي (المعدني) الى حامض الكبريتيك بفعل بكتيريا الكبريت ويعمل على معادلة تفاعل التربة وهذا ينعكس بالاجاب على تحسين تغذية النبات ليس فقط لزيادة جاهزية فسفور التربة ولكن أيضا بالنسبة للعناصر الغذائية الصغرى وبقية العناصر الغذائية الاخرى حيث ان جاهزية العناصر الغذائية تزداد بصفة عامة حول نقطة التعادل .

5.1.7 - الكالسيوم Calcium (Ca)

(أ) فكرة عامة :

يبلغ معدل محتوى القشرة الارضية من الكالسيوم حوالي 3.64% بالوزن وبالتالي فهو يأتي بالمرتبة الخامسة بعد عناصر O ، Si ، Al ، Fe والتي تشكل حوالي 87% بالوزن من قشرة الارض وحتى عمق ١٦ كم من سطح التربة كما يتضح ذلك من الجدول (4-7) اللاحق .

يوجد الكالسيوم في التربة في المعادن الاولية مثل الفلسبار الكلسي (الانورثيت) والاوليفين والبيروكسين والامفيبول والتي منها الهورنبلند . غير ان الهورنبلند يحتوي كمية عالية من الـ Al و Fe وكمية اقل من الـ Ca و Mg . كذلك يوجد في صخور الفوسفات (الاباتيت Apatite) والذي يعتبر من اكثر صخور الفوسفات انتشارا . كما يوجد الكالسيوم في معدن الكالسييت (Calcite) وهو عبارة عن كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ وكذلك في الدولوميت (Dolomite) وهو خليط من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم $(CaCO_3.MgCO_3)$.

عموما تعتبر ترب المناطق الجافة وشبه الجافة كما هو الحال عندنا ذات محتوى عال من الكالسيوم وهذا قد يسبب مشكلة كما في حالة الترب الجيرية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم حيث يسبب ارتفاع في درجة تفاعل التربة (pH) والذي ينعكس سلبيا على جاهزية معظم العناصر الغذائية وخاصة العناصر

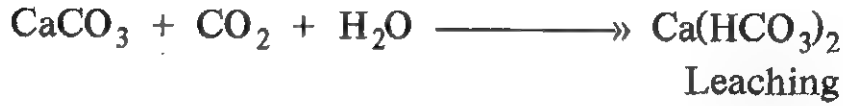
جدول (4-7) معدل التركيب الكيماوي لقشرة الارض والى عمق ١٦ كم كنسبة مئوية من الوزن والحجم عن : (Epstein, 1972).

العنصر	الوزن %	الحجم %	العنصر	الوزن %	الحجم %
O	46.46	91.77	H	0.14	0.06
Si	27.61	0.80	P	0.12	-
Al	8.07	0.76	C	0.09	0.01
Fe	5.06	0.68	Mn	0.09	-
Ca	3.64	1.48	S	0.06	-
Na	2.75	1.60	Cl	0.05	0.04
K	2.58	2.14	B	0.04	-
Mg	2.07	0.56	F	0.03	-
Ti	0.62	--	العناصر الآخري	0.52	0.10

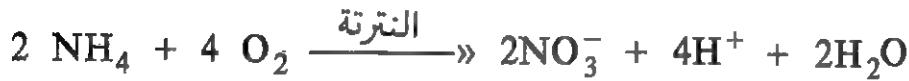
الغذائية الصغرى باستثناء عنصر المولبدنم والذي تزداد جاهزيته تحت الظروف القاعدية . أما ترب المناطق الحامضية او ترب المناطق الاستوائية الرطبة والتي يزداد فيها تكون ايونات الهيدروجين وغاز ثاني اوكسيد الكربون فهذه العوامل تعمل على تقليل محتوى الكالسيوم في تربها حيث تحل أيونات الهيدروجين محل الكالسيوم المتبادل على سطوح غرويات التربة ويتحرر الـ Ca^{2+} الى محلول التربة وهذا يغسل الى الاعماق بعيدا عن متناول جذور النبات وبالطبع تزداد شدة الغسل بزيادة كمية الامطار المتساقطة ، وقد تصل كمية الكالسيوم التي تغسل من التربة تحت الظروف المناخية المعتدلة من 200 الى 300 كغم كالسيوم بالهكتار .

وبالرغم من أن ذوبان كربونات الكالسيوم قليل جدا (حيث يتراوح من 10-15 ملغم $CaCO_3$ / لتر اي حوالي 0.3 مليمول) الا أن زيادة تكون غاز CO_2 والذي يزداد بزيادة اضافة المادة العضوية يسرع من امكانية تحول $CaCO_3$ الى $Ca(HCO_3)_2$ السهلة الذوبان .

كما وجد إن انخفاض درجة الحرارة يزيد من عملية ذوبان وتجوية CaCO_3 بوجود غاز CO_2 ولذلك فإن المناطق الاستوائية الرطبة الباردة تتعرض الى عمليات فقد كبيرة لهذا العنصر كما يتضح من المعادلة التالية :

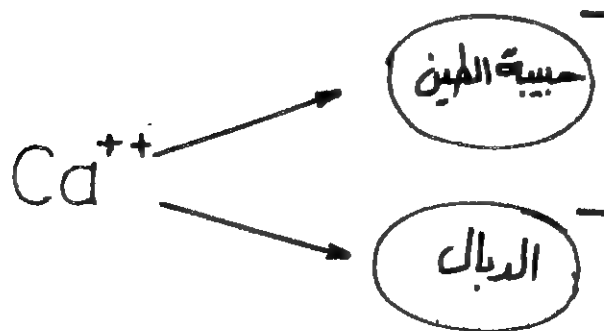


وما تجدر الاشارة اليه ان عملية النترية والعوامل المؤثرة عليها تلعب دورا اكثر اهمية من عملية تكون البيكربونات والتي تؤدي الى غسل الكالسيوم من التربة (1968, Larsen and Widdowson) حيث أن أيونات الهيدروجين المتكونة تكون قدرتها أعلى على مهاجمة مركبات الكالسيوم غير الذائبة أي تجويتها وتحرير الكالسيوم منها والتي قد تتعرض لعملية الغسل بعد ذلك :



وطبقا لما اشار اليه (1973, Russell) انه لكل 100 كغم من سماد كبريتات الامونيوم المضافة الى التربة فإن حوالي 45 كغم كالسيوم قد تزال مع مياه البزل نتيجة لعملية النترية (النترجة) والموضحة في المعادلة السابقة .

وما تجدر ملاحظته أن وجود الكالسيوم في التربة يعتبر دليلا أو أحد صفات التربة الجيدة حيث يعمل على تثبيت بناء التربة وتكوين البناء الحبيبي (Aggregate Structure) والذي يعتبر أفضل بناء للتربة وذلك من خلال ربط الكالسيوم لغرويات التربة (الطين والدبال) حيث ترتبط احد شحناته مع حبيبة الطين والشحنة الاخرى مع الشحنة السالبة الخاصة بالمادة العضوية والتي يمكن التعبير عنها كالآتي :



هذا وقد بين (Broyer and Stout, 1959) ان الترب التي يسود فيها تواجد معادن الطين الثانوية من نوع 1:2 يجب أن يكون 80% من سعة التبادل الكاتيوني (CEC) للتربة مشبعة بالكالسيوم أما الترب التي تسود فيها معادن الطين 1:1 مثل الكأوليننت فإن مايعادل 20% من سعة التبادل الكاتيوني يجب أن تكون مشبعة بالكالسيوم .

هذا ويقدر الباحثون مدى مساهمة عنصري الـ Mg , K في سعة التبادل الكاتيوني بما يعادل (6-12%) Mg و (3-5%) K . وطبقا لما تقدم فإن نقص الكالسيوم في التربة يؤدي الى تكوين بناء مفرق غير ملائم لنمو النبات حيث تسوء العلاقات المائية والهوائية في هذه الحالة . كما ان نقص الكالسيوم يؤدي الى انخفاض (pH) التربة وهذا يؤثر بدوره على جاهزية بعض العناصر الغذائية ، فعلاوة على ظهور نقص ببعض العناصر الغذائية مثل الفسفور والمولبدنم تحت الظروف الحامضية فإنه قد تزداد تراكيز بعض العناصر في محلول التربة بحيث تكون ذات تأثير سام على النبات مثل Mn, Al . كما أن زيادة وجود $CaCO_3$ في التربة قد تؤدي الى مايسمى بالشحوب الكلسي أو الشحوب اليخضوري الكلسي (Limestone Chlorosis) والذي يتسبب عن حدوث شحوب أي اصفرار على اوراق النباتات والذي يرجع بالدرجة الاساس الى نقص عنصر الحديد . كما يجب أن يلاحظ أن السمية بالالومنيوم تكون مصحوبة أيضا بنقص عنصر الفسفور تحت الظروف الحامضية نتيجة لتكوين المركب المعقد فوسفات الالومنيوم .

(ب) وظائف الكالسيوم

للكالسيوم وظائف عديدة بداخل النبات وأهمها ما يأتي:

- 1 - يبدو أن للكالسيوم وظائف بنائية حيث يدخل في تكوين الصفيحة الوسطى (middle Lamella) للجدار الاولي للخلايا نتيجة لتكوين بكتسات الكالسيوم . إن دخول الكالسيوم في تكوين الصفيحة الوسطى يعمل على تقوية الجدار الخلوي . كما ان الكالسيوم يميل الى تكوين مركبات مخرلية مع بروتوبلازم الخلايا والذي يعمل على زيادة مرونتها وبناء على ذلك تكون الخلايا قوية من ناحية ومرونة من ناحية اخرى مما يجعل النباتات أقل عرضة للانكسار بالرياح وهذا قد يكون على درجة كبيرة من الاهمية كما في حالة النجيليات حيث يقلل من نسبة او خطر اضطجاعها خاصة أثناء هبوب الرياح أو اذا ماتصادف هبوب الرياح مع الري أو هطول الامطار .
- 2 - يساهم مع أيونات العناصر الغذائية الاخرى في تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات وخاصة عناصر (B, Mn, Cl, Na, K) .

- 3 - يشترك في عملية نقل الكربوهيدرات من أماكن تكوينها في الأوراق إلى أماكن تجمعها كما في حالة درنات البطاطا أو جذور البنجر السكري .
- 4 - يشترك في ترسيب حامض الأكساليك على شكل أكسالات الكالسيوم وبالتالي التخلص من سميته في النبات .
- 5 - يشترك الكالسيوم مع المغنيسيوم في تكوين الفاييتين (Phytin) وهو عبارة عن ملح الكالسيوم والمغنيسيوم لحامض الفاييتيك (Phytic acid) والذي هو استر حامض الفسفوريك السداسي المشتق من الإيونوسيتول (Inositol) . ويعتبر هذا الملح المصدر للفسفور في البذور واثناء عملية الانبات .
- 6 - له دور في تنظيم الهرمونات النباتية مثل IAA .
- 7 - يرفع كفاءة النبات في تمثيل غاز CO_2 .
- 8 - وجوده في الوسط الخارجي (محلول التربة) يعمل على رفع كفاءة النبات في زيادة معدل عملية امتصاص البوتاسيوم حيث يعمل الكالسيوم كأني كاتيون ثنائي التكافؤ على تقليل نفاذية الأغشية وبالتالي يقلل من البوتاسيوم الخارج (K-efflux) وهذه الكيفية يزداد معدل امتصاص البوتاسيوم حيث أن معدل امتصاص البوتاسيوم هو الفرق بين البوتاسيوم الممتص الداخل (K-influx) مطروحا منه البوتاسيوم الخارج K-efflux كما يلي : -

$$\text{Net :K-absorption} = (\text{K-Influx}) - (\text{K-Efflux})$$
- وقد لاحظ هذه الظاهرة العالم Viet الذي هو أحد تلاميذ العالم الشهر Hoagland المرتبط اسمه حاليا بمحليل هوكلاند في زراعة النباتات في المحاليل المغذية وقد أطلق على هذه الظاهرة اسم (Viet's effect) .
- 9 - ضروري لعملية انقسام الخلايا المرستيمية ونمو حبوب اللقاح كما في حالة عنصر البورون ولذلك فإن نقص كل من الكالسيوم والبورون يؤدي إلى موت القمة النامية للنبات .
- 10 - لقد وجد أن الكالسيوم ضروري للنباتات البقولية لكي تزداد قدرتها في تثبيت النتروجين الجوي وكذلك فإن النباتات تضعف قدرتها على الاستفادة من النترات الممتصة في حالة نقص الكالسيوم .

(ج) أعراض نقص الكالسيوم :

يتذبذب محتوى الأوراق من الكالسيوم حيث يتراوح من 0.3 إلى 1.6% في مادتها الجافة ، غير أن المحتوى $Ca\%0.5$ في المادة الجافة يعتبر كافيا لحدوث نمو

طبيعي لمعظم النباتات . تعتبر الحمضيات من أكثر النباتات احتواء على الكالسيوم ، فالاحتوى 3 الى 6% Ca في مادتها الجافة يمثل محتوى طبيعي ولا يمثل سمية لها . كذلك تعتبر النباتات البقولية ذات محتوى عالي من الكالسيوم مقارنة بالنجيليات حيث تقدر احتياجاتها بخمسة أضعاف احتياجات النجيليات . كما أن الظمالة تتطلب الكالسيوم بنسبة عالية وتقدر تلك الاحتياجات من 10-15 مرة قدر الحنطة .

إن الكالسيوم عنضر بطيء الحركة بداخل النبات ولذلك تظهر أعراض نقصه على الاوراق الحديثة أولا ونقصه يسبب موت القمة النامية للنبات وكذلك يؤدي الى ضعف المجموع الجذري ويحدث تشوه للاوراق الحديثة حيث تصبح حوافها ملتفة وتتجه قمة الورقة الى الخلف وتصبح على هيئة خطاف وقد تتمزق حواف الورقة مع ظهور بقع منخورة (Necrosis) وفي النهاية تجف الاوراق وتلتف حول السيقان . وفي معظم الاحيان يكون شكل النبات كث او كثيف بسبب خروج عدد كبير من البراعم الحديثة لكي تعوض البراعم القديمة الميتة وهذه بدورها سرعان ماتت وهكذا باستمرار مما يجعل النبات كثيفا . وفي حالة الذرة الصفراء قد تلتصق قمة الاوراق ولا تخرج من غمدها فتظل ملتصقة مع الساق . وفي نبات التبغ تشوه قمة الاوراق وتتجه للخلف بشكل خطاف وتكون الاوراق سميكة جدا . وكذلك التفاح تتكون النقرة المرة على الثمار (Bitter pit) وهي عبارة عن بقع بنية أو قهوائية توجد على الثمار من الخارج وقد تمتد الى داخل نسيج الثمار .

اما في الظمالة والباذنجان والفلفل والرقمي والبطيخ فيحدث فيها تعفن الطرف الزهري Blossom end rot في حالة وجود نقص بالكالسيوم . ويعتبر المحتوى 0.8% Ca في المادة الجافة هو الحد الحرج او التركيز الحرج والا ظهر نقص الكالسيوم في الخضروات . إن نقص الكالسيوم يسبب احتراق قمة وحواف الاوراق والذي ربما يعود الى تأثيره على الـ Auxin والهرمونات النباتية والتي يعتقد في هذه الحالة زيادة تكوين حامض الكلوروجينيك (Chlorogenic acid) والذي يسبب حروقا لقمة وحواف الاوراق .

كما لوحظ في حالة نقص الكالسيوم حدوث اضرار واضحة لخلايا البرانكيا وانسجة اللحاء حيث يحدث فصل للخلايا عن بعضها البعض وتقل الفسح البينية الموجودة بين الخلايا بالعصارة الخلوية وتؤكسد المركبات الفينولية الى كينون (Quinone) وهذا يرتبط مع الاحماض الامينية او البروتينات مكونا الميلانين (Melanin) والذي يضيف على المناطق المنخورة اللون البني .

إن موت الخلايا نتيجة لتأكسد المركبات الفينولية يؤدي إلى تصلبها مما يؤدي إلى انسداد القنوات الهوائية الأمر الذي يمنع أو يعرقل انتقال أيونات العناصر الغذائية أو انتقال نواتج عملية التركيب الضوئي إلى الأعلى مما يسبب موتها وهذا يسبب موت القمة النامية .

كما أن نقص الكالسيوم يؤدي إلى ضعف المجموعة الجذرية أو حتى إلى موتها حيث تصبح بنية لزجة . ونقص الكالسيوم في نبات الكرفس يسبب له القلب الأسود (Black heart) . كما أن نقص الكالسيوم في التربة يؤدي إلى عدم تكون درنات البطاطا أو فستق الحقل حيث أن الكالسيوم ينتقل إليها من التربة مباشرة عن طريق الفراغ الحر الخاص بالدرنات (Apolast pathway) وليس عن طريق امتصاصه من قبل الجذور .

كما أن وجود الكالسيوم في التربة بكميات كافية يقلل من التأثير السام للعناصر النادرة الثقيلة مثل الرصاص والكاديوم والزنك ... الخ .
(د) إضافة الكالسيوم للتربة الحامضية : يضاف الجير (CaCO_3) لمعادلة الـ pH كما يستخدم الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) للتخلص من الكميات الزائدة من الصوديوم وتحسين بناء التربة في حالة التربة القلوية والملحية .

لا شك أن معادلة الـ pH للتربة الحامضية أو القلوية من الأمور المهمة لزيادة جاهزية العناصر الغذائية في مثل هذه التربة ، كما أن تزويد التربة بالكالسيوم الضروري للنبات من ناحية ومن ناحية أخرى هو تحسين بناء التربة وتكوين البناء الحبيبي (aggregate structure) كما ذكر والذي من شأنه تحسين العلاقات المائية والهوائية للتربة . فهو يعمل على زيادة قدرة التربة الرملية الخفيفة على حفظ الماء وفي نفس الوقت يمكن تخليص التربة الطينية الثقيلة من كميات الماء الزائدة فيها والتي قد تنعكس بلا شك بالإيجاب على جاهزية وامتصاص العناصر الغذائية فيها . فعلى سبيل المثال تخليص التربة الطينية من الماء الزائد فيها يعني تقليل ظروف الغدق وبالتالي تقليل عملية فقد النتروجين بواسطة عملية نزع النتروجين (Denitrification) وكذلك تقليل السمية بكبريتيد الهيدروجين (H_2S) الذي يتكون تحت الظروف الغدقة اللاهوائية (Anaerobic conditions) . وكذلك تقليل السمية بعنصر المنغنيز نتيجة لاختزاله والمعروف أن النبات يمتص المنغنيز الثنائي التكافؤ . إن تحسين تهوية التربة الطينية نتيجة لتخليص كميات الماء الزائدة منها تعني رفع كفاءة النبات لامتصاص عنصر الحديد حيث أن توفر الاوكسجين يعتبر من العوامل الأساسية لامتصاص هذا العنصر .

إن تعديل الـ pH للتربة الحامضية يعني تقليل السمية بعنصري الـ Mn ، Al وزيادة جاهزية عنصري الفسفور والمولبدنم .

كما أن معادلة تفاعل التربة للترب القاعدية تعني أيضا زيادة جاهزية الفسفور والعناصر الغذائية الصغرى الأخرى مثل الـ Cu, Zn, B, Mn, Fe. وبصور عامة تبلغ معدلات الإضافة من المواد الجيرية بحدود 3 إلى 4 طن من CaO أو 4 إلى 6 طن من CaCO_3 للهكتار الواحد خلال دورة زمنية من 3 إلى 5 سنوات لمعادلة pH الترب الحامضية. أما بالنسبة للترب الملحية والقلوية فيضاف الجبس $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ وهو ملح متعادل بحدود 15 إلى 40 طن/ للهكتار حسب كمية الصوديوم المتواجدة ودرجة التملح (Ralkov, 1971).

6.1.7 - المغنيسيوم (Magnesium (Mg

(أ) فكرة عامة

بوجه عام يمكن القول أن محتوى الترب من المغنيسيوم أقل من محتواها من الكالسيوم. وتعتبر ترب البدزول الرملية (Podzol) وترب اللاتريت (Laterite) فقيرة بالمغنيسيوم حيث لا يتجاوز محتواها أكثر من 0.05% Mg بينما قد يصل محتوى ترب الشيرنوزيم (Chernozem) السوداء أو الترب البنية ذات المحتوى الجيد من الطين إلى 0.5% Mg. كما أن مساهمة المغنيسيوم في سعة التبادل الكاتيوني (Cation Exchange capacity) أقل من الكالسيوم ولكنها أكثر من البوتاسيوم. فقد أشار (Bergmann, 1983) أن مساهمة كل من الـ Ca و Mg في سعة التبادل الكاتيوني هي على النحو التالي: -

الكالسيوم من 65-85% ملليمكافيه / 100 غم تربة
والمغنيسيوم من 6-12% ملليمكافيه / 100 غم تربة
والبوتاسيوم من 3-5% ملليمكافيه / 100 غم تربة

هذا ويبلغ محتوى القشرة الأرضية من المغنيسيوم حوالي 2.07% بالوزن وتعتبر الصخور القاعدية مثل البازلت والجايرو والمعادن الأولية المتواجدة في هذه الصخور القاعدية مثل الأوليفين (Olivine) والتي منها معدن الفورستيرين (Forsterite, Mg_2SiO_4) والبيروكسين والتي منها معدني الأوجيت والآنستاتيت (Anstatite, $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$) والامفيبول والتي منها معدني الهورنبلند (Hornblende) وتريماليت (Tremalite) كما أن تلك الـ Talc والميكا السوداء (البيوتيت Biotite) ومعادن الطين الثانوية مثل الكلورايت (Chlorite) والفيرميكلوليت (Vermiculite) والايليت (Illite) والمونتموريللونيت (Montmorillonite) هي من أهم المعادن التي تحتوي على المغنيسيوم. وحيث أن

المعادن المحتوية على المغنيسيوم والحديد والكالسيوم تكون سهلة التجوية لذا تعتبر المعادن السليكاتية ذات مصدر جيد لتغذية النباتات بهذه العناصر .

إن بعض الترب تحتوي على المغنيسيوم في صورة الماغنيسيت (MgCO_3 , Magnesite) او الدولوميت ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, Dolomite) وفي المناطق الجافة وشبه الجافة قد تحتوي الترب على كميات كبيرة من المغنيسيوم على شكل كبريتات المغنيسيوم (MgSO_4). وقد يتواجد المغنيسيوم كما في حالة الكالسيوم بتركيز عال في محلول التربة حيث يتراوح من 2 الى 5 مليمول غالباً ، غير ان مستوياته يمكن ان تخضع لتأرجح كبير حيث وجدت مستويات قد تباينت من 0.2 الى 150 مليمول في محلول التربة . وقسم من المغنيسيوم قد يكون متحداً مع المادة العضوية بيد ان هذا الجزء يسير ولا يتجاوز 1% من المغنيسيوم الكلي الموجود في التربة وكما في حالة عنصر الكالسيوم فان كميات كبيرة من المغنيسيوم تغسل بسهولة من مقد التربة وتتراوح تلك الكميات من 2 الى 30 كغم $\text{Mg} / \text{هكتار} / \text{سنة}$ ، ويتوقف ذلك بطبيعة الحال على نوع التربة ونسجتها حيث تفقد كميات كبيرة منه في الترب الرملية الخشنة النسجة مقارنة بالترب الطينية الناعمة النسجة بعملية الغسل (Leaching) . كما تعتمد عملية الغسل على كمية المغنيسيوم المتواجدة في التربة وكذلك على كمية ما يمتص منه بواسطة النبات وعلى معدل التجوية وكمية الامطار الموسمية المتساقطة . (1976, Kirkby and Mengel).

ويمتص المغنيسيوم كما في حالة الكالسيوم في الصورة الثنائية التكافؤ اي Mg^{2+} وهو يشبه كذلك الكالسيوم حيث ينتقل الى الاعلى مع مجرى النتح في الخشب وعلى عكس الكالسيوم غير المتحرك تقريباً في اللحاء فان المغنيسيوم يعتبر من العناصر المتوسطة الحركة ولذلك بعكس الكالسيوم تظهر اعراض نقصه اولاً على الاوراق القديمة من النبات ، وكما في حالة الكالسيوم فان محتوى الاوراق من المغنيسيوم يكون بصورة عامة اعلى من محتوى السيقان وهذا عكس ما هو عليه الحال بالنسبة لعنصر البوتاسيوم والذي يتواجد تقريباً بكميات تكاد تكون متقاربة في كل من الاوراق والسيقان كما أشار الى ذلك (1960, Scharrer and Mengel).

(ب) وظائف المغنيسيوم بداخل النبات :

أولاً : هناك وظائف مشتركة يقوم بها كل من المغنيسيوم والكالسيوم وهي :

- أ - كلاهما يشترك في عملية نقل الكربوهيدرات
- ب - كلاهما يساهم في عملية تنظيم الجهد الازموزي في النبات .

- ج - كلاهما يعمل على تخليص النبات من السمية بحامض الاكساليك حيث تتكون بلورات اكسالات الكالسيوم واكسالات المغنيسيوم .
- د - كلاهما يدخل في تكوين الفيتين Phytin .
- هـ - كلاهما يشترك في عملية اختزال النترات بداخل النبات ويحفزان عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البقوليات .
- و - كلاهما له دور في تحفيز تكوين الهرمونات النباتية .

ثانياً : وظائف اخرى يكون المغنيسيوم متخصصاً بها وهي :

- أ - يدخل مع الـ N في تكوين جزيئة الكلوروفيل كما ان له دور مساعد في تكوين صبغات النبات مثل الكاروتين والزانثوفيل (Xanthophyll) .
- ب - ضروري للحصول على الطاقة من الـ ATP حيث يقوم بربط بروتين الانزيم مع مجموعة الفوسفات العائدة لها .
- ج - ينشط عدداً من الانزيمات ومساعدات الانزيمات والتي تلعب دوراً مهماً في عملية هدم الكربوهيدرات سواء تحت الظروف اللاهوائية بواسطة عملية الـ (Glycolysis) والتي تنتهي بتكوين حامض البايروفيك (Pyruvic acid) $\text{O}=\text{C}-\text{COOH}$ او في دورة كريبس (Krebs) $\text{COOH}-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_3$
- (Cycle) لعملية التنفس النهائية والتي تتم في الماييتوكوندريا وهذه الانزيمات هي Pyruvic phosphokinase, Carboxylase, Enolase ومساعد الانزيم Acetyl CoA وغيرها .
- د - يلعب دوراً مهماً في تثبيت بناء الرايبوسوم والذي يتم عليه تكوين البروتينات .
- هـ - ضروري لما يسمى بمضخة الصوديوم او ما تعرف ايضاً بالـ (K-Na-ATPase) والتي تقوم بادخال البوتاسيوم وطرده الصوديوم من خلايا النبات الى الخارج .
- و - له دور مهم في تحويل الفسفور المعدني الى فسفور عضوي .

(ج) اعراض نقص المغنيسيوم :

يتراوح المحتوى الاعتيادي من المغنيسيوم بحدود 0.3 الى 0.6% في المادة الجافة . وتختلف الاحتياجات من المغنيسيوم حسب نوع النبات . وبصورة عامة فان احتياجات النباتات البقولية تقدر بضعف احتياجات النجيليات . كما ان النباتات الزيتية احتياجاتها عالية من المغنيسيوم ، كما يتضح ذلك مما يلي :

النجليات (بذور) تحتوي من 0.12-0.18% Mg في المادة الجافة
الترمس (بذور) تحتوي على 0.42% Mg في المادة الجافة
الكتان (بذور) تحتوي على 0.47% Mg في المادة الجافة
الحشخاش (بذور) تحتوي على 0.49% Mg في المادة الجافة

هذا ويعتبر المحتوى 0.12% Mg في المادة الجافة لأوراق الشعير الحد الحرج (أو التركيز الحرج) والا تسبب ذلك في ظهور اعراض نقص المغنيسيوم عليها . كما ان المحتوى 0.7% Mg في المادة الجافة لاوراق الشعير قد سبب سمية بالمغنيسيوم على هذا النبات . غير انه بصورة عامة اذا انخفض المحتوى عن 0.2% Mg فان ذلك يعتبر مؤشراً لظهور نقص بالمغنيسيوم على النباتات ، وهذا بالطبع يتوقف على نوع النبات .

إن نقص المغنيسيوم على النجليات يظهر بشكل اشربة مبقعة تشبه العقد اللؤلؤي . وفي معظم النباتات يسبب نقص المغنيسيوم حدوث اصفرار ثم تنخر فيما بين العروق الرئيسية للاوراق والتي تبدأ على قمة وحواف الاوراق ثم تتجه مع اشتداد اعراض النقص الى العرق الوسطي للورقة كما في حالة التبغ والكرفس وانواع البنجر . في حين قد يبدأ الاصفرار على طول العرق الوسطي ثم يتجه الى حواف الورقة كما في حالة الحمضيات واشجار الفاكهة والعنب والبقوليات والبطاطة والطماطة . وفي كلا الحالتين يكون الاصفرار والتنخر بشكل الاسفين فيما بين العروق الرئيسية للورقة . وما تجدر الاشارة اليه ان عروق الورقة ومساحة صغيرة تحيط بها تظل خضراء . وتظهر الاعراض على الاوراق القديمة أولاً والتي تظهر ذبولاً كما في حالة نقص عنصر البوتاسيوم الا ان اعراض البوتاسيوم تظهر في وقت مبكر وتكون الاوراق اصفر مما هو عليه الحال عند تعرضها لنقص المغنيسيوم كما ان الاوراق تكون مجمدة ولكنها ناعمة الملمس في حين تكون مجمدة وخشنة الملمس في حالة نقص البوتاسيوم وهناك فرق جوهري آخر ومهم وهو بقاء الاوراق جافة ومعلقة على النبات لفترة طويلة في حالة نقص عنصر البوتاسيوم في حين ان الاوراق تتساقط في وقت مبكر قبل نضوجها في حالة نقص عنصر المغنيسيوم علاوة على ما ذكر سابقاً فان عنقود العنب قد يتمزق حامله علاوة على تمزق اعناق الاوراق .

وفي الطماطة يحدث نضج غير متجانس (Blotchy Ripening) وكما في حالة نقص البوتاسيوم تكون الثمار عرضة للتلف اثناء النقل او الحزن . كما قد تتساقط الثمار في وقت مبكر قبل نضجها .

ومن الجدير بالملاحظة كذلك ان نقص المغنيسيوم في المحاصيل العلفية والذي قد يتسبب من عدم التوازن الايوني لعناصر (Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ , Na^+) يسبب مرض كزاز الحشيش (Grass tetany) على حيوانات المزرعة .

وبما تجدر الإشارة اليه ايضاً ان علاج نقص المغنيسيوم عن طريق التربة لا يظهر أثره الفعال مباشرة كما في حالة نقص وعلاج عنصر النتروجين بل قد يحتاج ذلك الى اكثر من سنتين ، لذا ينصح بعلاج نقص المغنيسيوم رشاً على النباتات باستخدام محاليل الاملاح الحاوية على المغنيسيوم مثل كبريتات او نترات او كلوريدات المغنيسيوم وبتركيز لا تزيد عن 3% Mg .

2.7 العناصر الغذائية الصغرى Micronutrients

وهي العناصر التي يحتاجها النبات بكميات قليلة وتشمل كما سبق أن بينا ذلك في الفصول السابقة عناصر الـ (Fe, Cu, Mn, Zn, B, Mo and Cl) ويبلغ تركيزها حوالي 1-200 جزء بالمليون (ppm) في مادة النبات الجافة .

منذ منتصف القرن الحالي بدأ الاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى أكثر فأكثر للمحاصيل الحقلية والخضروات والفاكهة وأشجار الغابات وفي تغذية الانسان وكذلك في تغذية وتربية الحيوان وذلك لان التوسع في الانتاج الزراعي واستخدام نظام الزراعة الكثيفة قد ادى الى ظهور أعراض نقص العناصر الغذائية الصغرى (1978, Bergmaun et al.,).

إن انخفاض الحاصل بسبب وجود نقص العناصر الغذائية الصغرى قد يتأرجح من أجزاء بالمئة الى عدم الحصول على الحاصل نهائياً . كما ان نوعية الحاصل قد تتأثر حيث تحصل على حاصل قليل ذو نوعية رديئة . ويرى (Schmitt, 1965) أن علم تغذية النبات قد خطا الخطوة الثالثة عند اهتمام الباحثين بالبحوث التطبيقية والعملية لتوضيح العلاقات بين امتصاص العناصر الغذائية الصغرى وحاجة النباتات من هذه العناصر وتأثيرها على الحاصل ونوعيته .

اما الخطوة الاولى فهي الآراء القيمة التي طررها العالم الالماني الغري (Justus Von Liebig) منذ اكثر من 150 عاماً والتي لاقت قبولا واستحسانا واهتماما في مختلف أرجاء العالم حول النظرية المعدنية (Mineral theory) واهمية اضافة العناصر الغذائية المعدنية غير العضوية وتصنيعها لرفع كفاءة النبات لانتاج أعلى حاصل وأجود نوعية .

اما الخطوة الثانية فهي الاهتمام بالمشاكل المترتبة عن درجة تفاعل التربة وتأثيراتها المختلفة على نمو النبات وجاهزية وامتنصاص العناصر الغذائية .

إن الاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى في الوقت الحاضر وفي المستقبل تعود لأهميتها من الناحية التطبيقية في تغذية النبات والتي قد ترجع للأسباب الآتية : -

(1) الاتجاه المتعاظم في زيادة اضافة العناصر الغذائية الكبرى والاستغلال الامثل للترب الزراعية مع تطبيق نظام الزراعة الكثيفة والحصول على حاصل عال ذو نوعية جيدة ، كل ذلك يدعو للاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى لضمان نمو صحي للنبات .

(2) الاستخدام المتزايد من أسمدة العناصر الغذائية الكبرى ذات التركيز العالي والفقيرة بالعناصر الغذائية الصغرى ولذلك أصبحت الترب فقيرة بالعناصر الغذائية الصغرى مقارنة بمحتواها من هذه العناصر عما كانت عليه في الماضي ان لم يكن أصبح وجودها في الترب يكاد يكون معدوما .

(3) استخدام الاصناف المحسنة ذات الانتاجية العالية والنوعية الجيدة وذات الاحتياجات العالية من العناصر الغذائية وبالتالي فانها تكون مستهلكة للعناصر الغذائية المتواجدة في التربة ولذلك فإن الحاجة تدعو الى اضافة العناصر الغذائية الكبرى او الصغرى لتمكين النباتات من الحصول على احتياجاتها العالية من العناصر الغذائية في فترة زمنية محددة والمخصصة لها في الدورة الزراعية .

(4) الاستخدام المتزايد للثروة الحيوانية وتخصيص مساحات شاسعة من الاراضي الزراعية لرعيها مباشرة من قبل الحيوانات فإن ذلك بلاشك يؤدي الى استهلاك كميات لا بأس بها من العناصر الغذائية الكبرى والصغرى نتيجة لتغذية الحيوانات على نباتات أعلاف المراعي مما يقلل محتوى الترب من العناصر الغذائية ومنها العناصر الغذائية الصغرى .

(5) استخدام كميات كبيرة من العناصر الغذائية الكبرى يعمل على عدم التوازن الايوني والذي يكون بطبيعة الحال في غير صالح العناصر الغذائية الصغرى في الترب وهذا قد يؤدي الى عرقلة او تقليل امتصاصها ما لم تضاف هذه العناصر الصغرى في صورة أسمدة للتربة لضمان عملية التوازن الايوني في التربة بين العناصر الغذائية الكبرى والعناصر الغذائية الصغرى .

إن أهمية العناصر الغذائية الصغرى للنبات ترجع لعلاقتها المهمة في اجراء مختلف التفاعلات الحيوية والتي تعود لتأثيراتها المباشرة او غير المباشرة في تنشيطها للانزيمات المختلفة والتي تقدر بآلاف الانزيمات والمسؤولة عن التفاعلات الايضية

المختلفة التي يقوم بها النبات والانسان أو الحيوان . وتكمن أهمية العناصر الغذائية الصغرى في أن كميات قليلة منها تقدر بالأجزاء بالمليون يكون لها تأثيرات فسيولوجية مهمة كما ان كميات صغيرة منها تقدر بالأجزاء بالمليون يمكن أن تؤدي الى سمية قليلة أو كبيرة .

إن كثيرا من الانزيمات تحتوي على العناصر الغذائية الصغرى داخلية فعلا في بنائها والذي يطلق عليه في هذه الحالة اسم (Conjugated Protein or enzyme) لمثلاً قد تكون العناصر الغذائية الصغرى هي الجزء الفعال في بنية العوامل المساعدة للانزيمات (Coenzymes) أو العوامل المرافقة للانزيمات (Prosthetic groups) أو قد يصادف أحيانا ان تكون العناصر الغذائية الصغرى محفزة للانزيم (activator) ويذكر أن هذه الانواع الثلاثة المشاركة للانزيمات يطلق عليها بالعوامل المشاركة (Cofactor) .

وبما تجدر الإشارة اليه ان العناصر الغذائية الصغرى قد تلعب دور المحفزات أو المشبطات أو كلاهما معا لعمل الانزيمات في التفاعلات الحيوية المختلفة . ولذلك فإنه أصبح مقبولا ومفهوما لدى الكثيرين لماذا يطلق علماء الكيمياء الحيوية والفلسفة على العناصر الغذائية الصغرى اصطلاح العوامل المساعدة الحيوية لأهميتها الكبيرة في التفاعلات الحيوية للنبات والانسان والحيوان .

أما عن الكميات المناسبة من العناصر الغذائية الصغرى ومدى تواجدها في الخلايا الحية ومدى نشاطها أو بمعنى آخر مدى ميلها للارتباط بمجاميع الجزيئات العضوية بحيث تستطيع ان تحل محل بعضها أو أن يعوض أحدها الآخر أو أن ينشط أو يشبط التفاعلات الحيوية المختلفة والذي يكون من نتيجته احداث نمو مثالي أو نمو غير طبيعي فقد تناول ذلك (Schutt, 1964) في دراساته العديدة .

ومن الامور المهمة الاخرى والتي يجدر الإشارة اليها هو أن عمل العناصر الغذائية الصغرى والتي تنشط الانزيمات هو قدرتها على تغيير تكافئها وبالتالي تكون الانزيمات مؤهلة نتيجة لزيادة نشاط نظام الاكسدة والاختزال (Redox potential) في تغيير شكل المواد المتفاعلة أو قادرة على تغيير شكل بروتين الانزيم نفسه مما يجعل الانزيمات في وضع يمكنها من نقل الالكترونات بدرجة عالية أو بدرجة اقل وبهذه الكيفية تسير الانزيمات مختلف التفاعلات الحيوية للخلايا الحية المختلفة .

ونتيجة لارتباط العناصر الغذائية الصغرى في نظام الانزيم تزداد كفاءة عمليات الاكسدة والاختزال بعشرات أو مئات المرات كما في حالة عنصر النحاس

وعلى هذا الاساس يجب أن تكون العناصر الغذائية الصغرى متواجدة بداخل الخلايا الحية وبنسب متوازنة مع بعضها البعض وكذلك متوازنة مع العناصر الغذائية الكبرى .

إن تأثير العناصر الغذائية الصغرى لايتوقف فقط على نمو وتطور النبات بل تمتد تأثيراتها الى مختلف التفاعلات الحيوية التي تحدث بداخل النبات وبالتالي تؤثر على حاصل النبات وخاصة مكوناته من البروتينات والدهون والكربوهيدرات والفيتامينات مما ينتج عنه تأثيرات على الانسان نفسه .

لهذا السبب يضع العلماء نصب اعينهم في الوقت الحاضر ان زيادة الانتاج وتحسين نوعيته وما يؤثره على غذاء الانسان والحيوان يستحيل تحقيقها بدون الاهتمام بالعناصر الغذائية الصغرى . كما يجب أن يكون في الحسبان أن هذا الهدف لايمكن تحقيقه الا باجراء التجارب العلمية والتطبيقية وتحتاج الى الخبرة والملاحظات الحقلية المكتسبة من التجارب العديدة للتسميد بالعناصر الغذائية الصغرى سواء في البيوت الزجاجية أو في الحقل .

كما يجب أن يلاحظ ان التسميد بالعناصر الغذائية الصغرى قد يؤدي الى نتائج عكسية على الحاصل ونوعيته حيث أن زيادة التراكيز قليلا فوق المستوى الذي يحتاجه النبات لنموه ونشوئه قد لا يؤدي الى تحسين الحاصل ونوعيته بل يؤدي الى آثار سلبية لما تسببه منسمية للنبات أو لما تسببه من خطر للسمية على الحيوان أو الانسان عند التغذي على منتجات هذه النباتات او ماتسببه من تلوث للبيئة بوجه عام .

وسنشرح هذه العناصر الصغرى باختصار :

1.2.7 — الحديد Iron (Fe)

(أ) فكرة عامة

يكون الحديد حوالي 5% من وزن القشرة الارضية ، كما إنه يعتبر من أكثر العناصر الغذائية الصغرى وجودا في التربة والنبات . يوجد الحديد في الترب بحدود 2% أي حوالي 20000 جزء بالمليون . بينما يبلغ محتوى الحديد في النباتات من 50 — 200 جزء بالمليون . ولكننا قد نجد أحيانا تراكيز بحدود 800 ppm وحتى 2000 ppm . إن الجزء الاكبر من حديد التربة يوجد في الصفائح البلورية لكثير من المعادن الأولية مثل الاولفين (Olivine) والأوجيت (Augite)

والهورنبلند (Hornblende) والبيوتيت (Biotite). إن هذه المعادن تشكل المصدر الرئيسي للحديد في الصخور النارية. كما يدخل الحديد في تكوين عدد من الأكاسيد الأولية مثل الهيماتيت (Fe_2O_3) والمالكنتايت (Fe_3O_4). وفي الصخور الرسوبية تعتبر أكاسيد الحديد الأولية وكذلك كربونات الحديد والتي تعرف بالسيدرايت (Siderite) من أكثر أشكال الحديد الأولية المعروفة. كما أن مركب البايرايت (FeS_2) (Pyrite) يعد من مركبات الحديد المعروفة. يمتص الحديد بالدرجة الأساس على صورة الحديد الثنائي التكافؤ Fe^{2+} غير أن النبات يمكنه امتصاص الحديد بشكل مركب عضوي مثل مركبات الحديد الحلبية عن طريق الجذور. كما أن النباتات يمكنها أخذ الحديد عن طريق الأوراق عند رش النباتات بمحاليل الحديد مثل كبريتات الحديدوز.

إن تأكسد الحديد الثنائي التكافؤ بواسطة الهواء وتحوله إلى الحديد الثلاثي التكافؤ يقلل من جاهزية الحديد للنبات حيث قد يترسب غالبا على هيئة هيدروكسيد الحديد $Fe(OH)_3$ غير القابل للامتصاص والذي يحدث غالبا تحت الظروف القاعدية.

إن الاختزال الشديد للحديد والذي يحصل في حقول الرز الغدقة بواسطة البكتريا غير الهوائية يعمل على زيادة تركيز الحديد الثنائي بشكل كبير والذي بالطبع يمتص من قبل نبات الرز مسببا التسمم حيث تتلون الأوراق في البداية ببقع قهوائية صغيرة والتي ماتلت أن تشمل جميع نصل الورقة وتعرف هذه الحالة بالتلون البرونزي (Bronzing). وتعتبر هذه الحالة شائعة في حقول الرز والتي تحدث غالبا عندما يصل محتوى الحديد في أوراق النبات إلى أكثر من 200 ppm (1970 Tanaka and Yoshida). وعموما تعتبر نباتات الشوفان والرز والسبانخ والكرفس والمعدنوس والخس غنية بعنصر الحديد.

أما أهم العوامل التي تحدد جاهزية الحديد وامتصاصه فهي :

- (1) محتوى التربة من الكالسيوم والمغنيسيوم.
- (2) وجد أن أنيون البيكربونات يحل محل الفوسفات على سطوح معادن الطين فيتحرر أنيون الفوسفات إلى محلول التربة والذي يعمل على ترسيب الحديد على شكل فوسفات الحديد مما يقلل من جاهزية الحديد للنبات.
- (3) نقص الأوكسجين وزيادة تركيز غاز CO_2 يقلل من امتصاص الحديد بواسطة جذور النبات بشكل ملحوظ.
- (4) الجفاف أو نقصان الرطوبة والمرتبطة بعمليات الأكسدة والاختزال تؤثر في جاهزية الحديد للنباتات.

(5) محتوى الترب من الطين والمادة العضوية .

(6) ان المعادن الثقيلة ترتبط بدلاً من الحديد على المادة العضوية وتطرده الى محلول التربة وتزيد من جاهزيته للنبات وتكون القدرة على طرد الحديد كالآتي : -

(7)
$$\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cr}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$$
 النسبة بين $\frac{\text{P}}{\text{Fe}}$ (نسبة الفسفور الى الحديد) وجد ان النسبة في النباتات السليمة هي من 40-50 أما النباتات التي تعاني من نقص الحديد كانت النسبة أكثر من 60 .

(8) وجد ان زيادة الكالسيوم عن 3% في المادة الجافة وكذلك زيادة الـ Mn عن 400 ppm ، الـ Al عن 250 ppm والـ SO_4 عن 700 ppm تجعل النسبة بين عناصر الـ Al, Mn, Fe سيئة مما يعرقل امتصاص الحديد بواسطة جذور النبات (Bergmann, 1983) وقد أشار الباحث نفسه الى ان النسبة المثالية للـ $\frac{\text{Fe}}{\text{Mn}}$ هي 1.5-2.5 .

(9) كما وجد أن زيادة الـ H_2S عن 2-3 ملغم / 100 غم تربة والتي كان لها أثر سام على النباتات قد أدت الى عرقلة امتصاص العناصر الثقيلة ومنها الحديد .

(10) كما أشارت الدراسات ان تغذية النباتات بالـ N-NO_3 ذات التأثير الفسيولوجي القاعدي قد قللت امتصاص الحديد بعكس N-NH_4^+ ذات التأثير الفسيولوجي الحامضي التي أدت الى تشجيع امتصاص الحديد .

(ب) وظائف عنصر الحديد في النبات :

(1) يشترك الحديد في مساعدة تكوين الكلوروفيل بالرغم من انه لا يدخل في تكوينه .

(2) يدخل في تكوين السايتركرومات (Cytochromes) ذات الأهمية الكبيرة في عمليتي التركيب الضوئي والتنفس . حيث يشترك أنزيم الـ Cytochrome Oxidase في عملية نقل الالكترونات السلسلة عملية التنفس . كما ان مركب الفايترفيتين (Phytoferritin) عبارة عن بروتين فوسفاتي حديدي يعتبر مخزناً للحديد في البلاستيدات الخضراء ، حيث وجد ان 80% من الحديد الكلي يوجد في البلاستيدات الخضراء وهذا يوضح أهميته في عملية التركيب الضوئي .

(3) اما الفيريديوكسين (Ferredoxin) والذي يوجد ايضاً في البلاستيدة الخضراء فهو عبارة عن بروتين حديدي كبريتي والذي تبلغ قدرته

الاختزالية (-432) مليفولت ويشترك في عملية التركيب الضوئي حيث يساهم في عمليات الاكسدة والاختزال وذلك بنقل الالكترونات . كما يشترك ايضاً في عملية اختزال النترات الى امونيا وفي اختزال الكبريت وفي تثبيت النتروجين الجوي . كما وجد ان له القدرة على اختزال $NADP$ الى $NADPH_2$.

- (4) الدراسات الحديثة قد أشارت الى دوره في عملية تكوين الـ RNA .
(5) له علاقة بعملية تكوين البروتين بصورة غير مباشرة من جراء نقص التركيب الضوئي او تمثيل النتروجين ولقد وجد ان اشجار الفاكهة التي تعاني من نقص الحديد قد إنخفضت نسبة البروتين في أوراقها الى اكثر من 50% مقارنة بالنباتات السليمة .

(ج) اعراض نقص الحديد :

الحديد من العناصر البطيئة الحركة داخل النبات ولذلك تظهر اعراض نقصه أولاً على الاوراق الحديثة للنبات حيث يسبب اصفراراً لجميع نصل الورقة وتظل عروق الورقة محتفظة بلونها الاخضر وفي حالة اشتداد النقص قد تبدو الاوراق الحديثة صفراء أو حتى بيضاء بما في ذلك عروق الورقة . وقد يحدث نخر موضعي (Necrosis) على قمة وحواف الاوراق أو موزع بشكل غير منتظم فيما بين العروق أو على العروق نفسها وتكون قمة الورقة مشوهة ومدببة كما في حالة نقص المنغنيز .

كما أن نقص الحديد قد يسبب انحناءً شديداً لحواف الورقة الى الاسفل حيث تبدو الاوراق بشكل القارب المقلوب كما في حالة نبات الكاكاو .

كما يلاحظ تقزم النبات مع ضعف المجموع الجذري مع حدوث الموت التراجعي (Dieback) على قمة الشجرة أو نهايات الافرع والسيقان .

ويذكر ان انتشار نقص الحديد على اشجار الفاكهة اكثر من انتشاره على المحاصيل الحقلية والخضروات .

أما الشحوب اليخضوري الكلسي (Lime-stone chlorosis) فناتج عن زيادة وجود الكلس (Lime) في التربة أو اضافته لها والذي يسبب نقص الحديد على النباتات بالدرجة الاساس .

(د) علاج نقص الحديد :

بوجه عام لاينصح باضافة املاح العناصر الغذائية الصغرى الى التربة مباشرة في حالة الترب القلوية او القاعدية والتي يزيد تفاعل تربتها (pH) عن 7 حيث

سرعان ما تترسب العناصر الغذائية الصغرى في صورة مركبات معقدة غير جاهزة للامتصاص بواسطة جذور النباتات .

لذا بالنسبة لظروف العراق يفضل اضافة الحديد الخلي

Fe-APCA Amino poly carboxylic acid

أو استخدام الـ HEEDTA والذي هو عبارة عن Hydroxy ethylethylene diamine tetra acetic acid .

اما الحديد الخلي Fe-EDTA

(Ethylene diamine tetra acetic acid) فهو يصلح للترب الحامضية او المتعادلة او حتى القاعدية الخفيفة ولكن يشترط أن يكون محتوى الترب من CaCO_3 منخفضاً لان كثرته تجعل الكالسيوم يحل محل الحديد في المركب الخلي ويتحرر الحديد الى التربة والذي سرعان ما يترسب في صورة مركبات معقدة مثل $\text{Fe}(\text{OH})_3$ او FePO_4 او $\text{Fe}_2(\text{CO}_3)_3$ ويصبح الحديد غير جاهز للامتصاص .

وما دمنا بصدد المركبات الخلبية فيستحسن توضيح ماهية هذه المركبات وطريقة استخدامها .

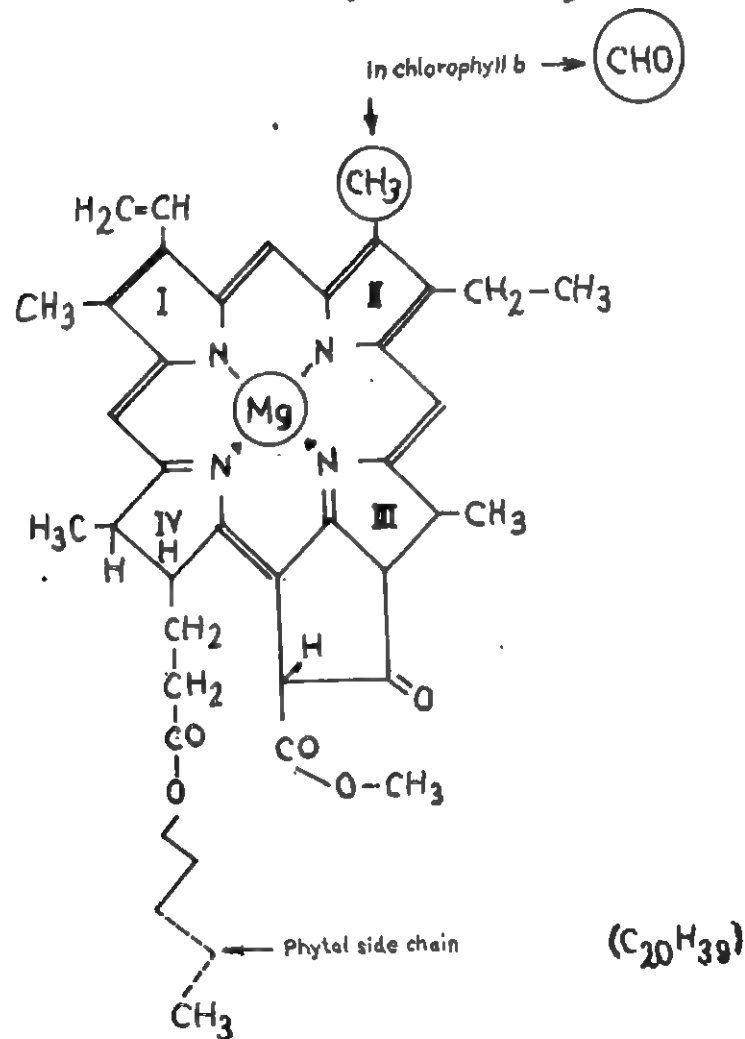
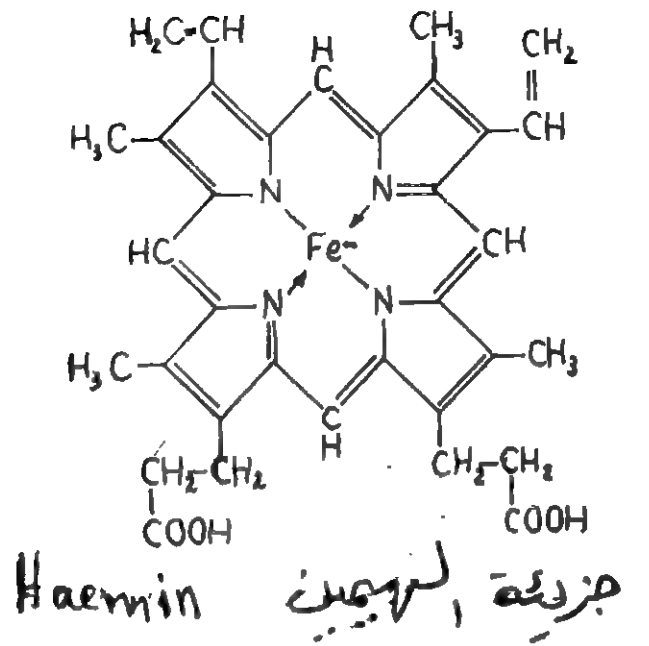
لقد اشتق اسم المركبات الخلبية (Chelates) من الاسم اليوناني (Chela) والتي تعني الخلب . وتطلق على المواد الكيميائية التي لها القدرة على مسك واحاطة العناصر وحمايتها وجعلها مقاومة للظروف الخارجية حيث تعمل لها كغطاء مانع او واقى ومنع تحررها الى محلول التربة .

وفي الطبيعة توجد مواد كثيرة في الترب والتي يمكن وضعها ضمن المركبات المغلفة مثل احماض الستريك والاثارتاريك والاسكوربيك والاحماض الامينية أيضاً .

ونظراً لكون هذه المواد غير متوفرة دائماً او لا تبقى ثابتة وبشكل فعال في التربة فقد تم تصنيع المواد الخلبية السالفة الذكر . فمثلاً تعتبر جزيئة الكلوروفيل التي تغلف عنصر المغنيسيوم وجزيئة الهيمين التي تحيط بعنصر الحديد وفيتامين B_{12} الذي يمسك بعنصر الكوبلت في داخله من الأمثلة الجيدة لوجود المركبات الخلبية الطبيعية كما في الشكل (7-11) .

وتكون ايونات العناصر مرتبطة بشدة بجزيئة المركب الخلي وبموقعين أو اكثر وغير قادرة على الانفصال بسهولة منها وبالتالي تحمى من الفقد او الترسيب اذا ماكانت الظروف البيئية او الخارجية غير ملائمة .

إن بعض المركبات الخلبية لها قابلية كبيرة على الذوبان كما في حالة مركبات الحديد الخلي حيث تذوب هذه المواد مع ايونات الحديد والمرتبطة معها وتكون



جزيئة الكلوروفيل (chlorophylla)

شكل (7-11) توضيح لجزيئتي الهيمين اعلى الشكل وجزيئة الكلوروفيل (a) في اسفل الشكل . وفي حالة جزيئة الكلوروفيل (b) تستبدل مجموعة (CH₃) بمجموعة (CHO) ورمز لحلقات Pyrrole الاربعة بالرموز IV, III, II, I عن (Mengel and Kirbky, 1982)

جاهزة للامتصاص بواسطة جذور النباتات . وقد يمتص المركب الخلبي بما فيه أيونات العنصر من الجذور وينتقل الى الاوراق في الوقت الذي ما يزال فيه العنصر متحداً مع المركب الخلبي وحتى يصل الى الاوراق وهنا يحصل انفصال للعنصر عن مركبه الخلبي نتيجة للتفاعلات الكيميائية التي تحدث داخل الخلية النباتية للورقة . وهناك آراء عن امكانية نزع العنصر من مركبه الخلبي على سطح الجذور نتيجة لوجود مركبات مخلبية طبيعية قوية في الخلايا السطحية للجذر والتي تكون لها السيطرة على جذب او نزع ايونات العنصر من مركباته الخلبية الصناعية .

هذا ويشترط أن يتوفر في المواد الخلبية المواصفات الآتية :

- (1) قابليتها على ربط العنصر ومقاومتها لايونات العناصر الاخرى والتي تحاول ازاحته والاحلال مكانه .
- (2) ان تكون مقاومة لعملية التحلل بفعل الاحياء المجهرية في التربة او ترسيبها بفعل هذه الاحياء .
- (3) ان يكون لها القابلية والاستعداد الكامل لامداد النبات بالعنصر المرتبط معها مباشرة .
- (4) ان يكون استعمالها اقتصادي وغير سام للنباتات ، هذا ويجب تجنب

استخدامها في حالة وجود جروح على النباتات .

ومما تجدر الاشارة اليه ان المركبات الخلبية مع المغذيات الصغرى يمكن استعمالها في التربة مباشرة مع مراعاة نوع التربة ودرجة تفاعلها ومحتواها من كربونات الكالسيوم وكذلك نوع النبات او يمكن رشها كمحاليل على النبات . وعموماً يمكن علاج نقص الحديد كالآتي :

- (1) يمكن اضافة املاح الحديد للتربة اذا كان الـ pH ملائماً .
- (2) رش النباتات بمحلول كبريتات الحديدوز $\text{FeSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (والتي تحتوي على الحديد بمعدل 20%) بتركيز لايزيد عن 3% .
(اي 3 كغم في كل 100 لتر ماء) . وعادة يكفي 50-100 لتر من هذا المحلول للدونم . هذا ومن الضروري اضافة المواد المرطبة لتمكين المحلول من الابتلال والالتصاق بالاوراق وفي هذه الحالة يستعمل ضغط يقدر بحوالي 35 باوند / انج مربع (2.5 كغم / سم²) .
- (3) في حالة استعمال الحديد الخلبي للتربة فإنه يضاف عادة بمعدل 500 غم لكل شجرة مثمرة . وبالنسبة للمحاصيل الحقلية يضاف الحديد الخلبي بمعدل 2-5 كغم ومحاصيل الخضر من 200-600 غم للدونم . اما نباتات الزينة فيضاف لها من 60 الى 250 غم حسب نوعها وعمرها .

ويلاحظ ان اعراض نقص الحديد تزول بسرعة بمحدود اسبوع الى اسبوعين حيث تستعيد الاوراق خضرتها .

(4) حقن النباتات باملاح الحديد او مركباته الخلبية على هيئة محاليل عن طريق جذع او سيقان النباتات ، وقد اوضحت هذه الطريقة فعاليتها في معالجة اعراض نقص بعض العناصر الغذائية الصغرى ومنها عنصر الحديد .

وما تجدر الاشارة اليه ان طريقة رش النباتات بمحاليل العناصر الغذائية قد لا تكون ناجحة دائماً فشلا اوراق بعض النباتات ومنها الحمضيات نظرا لاحتوائها على طبقة شمعية سميكة فانها تحد من سرعة انتقال الحديد عبر الاوراق مما يجعل عملية علاج نقصه بطيئة وقد تكون غير مجدية .

2.2.7 - المنغنيز (Mn) Manganese

(أ) فكرة عامة :

يوجد المنغنيز في كثير من الصخور الاولية والذي يتحرر منها بواسطة عمليات التجوية حيث ينتج عن ذلك عدد من المعادن الثانوية والتي من أهمها معدن البايرولوسيت (Pyrolusite MnO_2) والمانغنيت (Manganite $MnO(OH)$) . إن مستويات المنغنيز الكلي في الترب تختلف بشكل كبير حسب نوع التربة ومحتواها من الطين والدبال وكربونات الكالسيوم وكذلك على درجة تفاعلها حيث يلعب الـ pH دوراً أساسياً في تحديد مستوياته . كما ان احياء التربة ومستوى رطوبة التربة وهويتها تعد من العوامل المهمة بهذا الشأن . فقد وجد (Swaine, 1955) ان تراكيز المنغنيز تتراوح من 200 الى 3000 جزء بالمليون . إن هذا التذبذب الكبير في مستويات المنغنيز قد وجد ايضاً في النبات فعلى سبيل المثال لاحظ (Beeson, 1941) ان تراكيز المنغنيز تتراوح من 14 الى 936 جزء بالمليون في البرسيم . كما وجد ان النباتات النامية في بيئة تفاعل تربتها (pH) اكثر من 7 فإن تركيز المنغنيز في اوراقها كان اقل من 100 جزء بالمليون بينما بلغ تركيز المنغنيز فيها بمحدود 1600 جزء بالمليون عندما نمت في وسط حامضي . هذا ولقد أشار (Bergmann, 1983) الى وجود تذبذب في محتوى الاجزاء الهوائية للنبات وقد تراوح من 50 الى 60 مرة ، فكانت التراكيز من 6 الى 150 جزء بالمليون عندما كان تفاعل التربة (pH) من 6.9 الى 8.0 وفي ترب الغابات (لنفس النباتات) عندما كان تفاعلها من 4.5 الى 5.4 وجدت تراكيز من 70 الى 1200 جزء بالمليون منغنيز في مادتها الجافة .

وبوجه عام يعتبر التركيز 20 جزء بالمليون منغنيز في المادة الجافة كافياً لاجداث النمو الطبيعي . بيد ان الخضروات تظهر نقصاً اذا انخفض التركيز عن 50 جزء بالمليون في مادتها الجافة . ويمتص المنغنيز كما في حالة الحديد بالصورة الايونية الثنائية التكافؤ (Mn^{2+}) .

وبما تجدر الاشارة اليه ان الترب الحامضية قد تحتوي على تراكيز سامة من المنغنيز بالنسبة للنباتات . في حين ان الترب المتعادلة قد تحتوي على تراكيز كافية لنمو النبات حيث بلغت التراكيز من 50 الى 500 جزء بالمليون . اما الترب القاعدية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم فتعاني غالباً من نقص المنغنيز .

(ب) وظائف المنغنيز في النبات

هناك وظائف عديدة للمنغنيز في داخل النبات نذكر منها باختصار :

- (1) يعتبر من أهم العناصر الغذائية في دورة كريبس للتنفس حيث يعد مسؤولاً عن عمليات فصل غاز CO_2 (Decarboxylation) والفسفرة (Phosphorylation) .
- (2) له تأثير في عملية بناء حزمة الكلوروفيل .
- (3) يعمل على زيادة نسبة فيتامين C في النباتات كما في حالة عناصر الـ (Cu, Mo, Zn, B, K) .
- (4) مهم في عملية التركيب الضوئي حيث يشترك مع الكلور في تحليل جزيئة الماء (Photolysis) ضوئياً والحصول على الالكترونات في العملية المسماة بتفاعل (Hill reaction) وهي تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية في صورتي الـ (ATP) والـ ($NADPH_2$) .
- (5) وجد انه يشترك مع عناصر (B, Cl, Ca, Mg, Na, K) في تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات .
- (6) يشترك في عملية تكوين البروتين من خلال اشتراكه في عملية اختزال النترات ومن خلال توفيره للاحماض الكيتونية في دورة كريبس والتي ترتبط مع الامونيا الناتجة من عملية اختزال النترات لتكوين الاحماض الامينية والتي تعتبر حجر الاساس في تكوين البروتينات .
- (7) ضروري لتكوين الدهون حيث يشترك في عملية تحويل الـ Acetyl CoA الى الـ Malonyl CoA وذلك لأهميته في تنشيط انزيم الـ (Carboxylase) .

(8) لقد وجد ان انزيم IAA-Oxidase يكون غير فعال في حالة غياب عنصر المنغنيز .

(9) هناك دراسات عديدة قد أوضحت أهمية المنغنيز في رفع كفاءة النباتات لمقاومة الصقيع . كما لوحظت زيادة نسبة السكر في نبات البنجر السكري وكذلك زيادة نسبة الكربوهيدرات لمحصولي الذرة الصفراء والبطاطة . إضافة الى تبكير الازهار في نباتات البطاطا بحدود اسبوعين مقارنة بالنباتات التي عانت من نقص المنغنيز .

(ج) اعراض نقص المنغنيز :

إن الاصفرار فيما بين العروق والتبقع المصحوب بالنخر الموضعي (Necrosis) يعتبر الصفة المميزة لنقص هذا العنصر والذي يبدأ أولاً على الاوراق المتوسطة ثم الاوراق الحديثة ومع اشتداد نقص العنصر تمتد الاعراض الى الاوراق القديمة ، اما في النجيليات فتظهر الاعراض أولاً على الاوراق المتوسطة وتمتد الاعراض بعد ذلك الى الاوراق القديمة واخيراً الاوراق الحديثة . ومما تجدر الاشارة اليه هو ان الاجزاء الميتة قد تتساقط حيث تبدو الاوراق وكأنها مثقبة بالاضافة الى تمزق وتساقط بعضاً من حواف نصل الورقة .

إن مظاهر نقص المنغنيز قد تختلف كثيراً باختلاف النباتات كما يتضح ذلك من الامثلة الآتية :

الشوفان

يسبب نقص المنغنيز ظهور مرض يطلق عليه التبقع الرمادي (Grey Speck disease) حيث تظهر على اوراق الشوفان بقع شريطية رمادية اللون او بنية غامقة موازية للعرق الوسطي للورقة . وتظهر الاعراض عندما يكون محتوى الاوراق من المنغنيز اقل من 17 جزء بالمليون في مادتها الجافة .

فول الصويا

يلاحظ ظهور بقع غير منتظمة الشكل ممتدة فيما بين العروق الرئيسية وهي صفراء اللون وتتحول فيما بعد الى لون اسمر . وتبدأ الاعراض بالظهور عندما يقل تركيز المنغنيز عن 20-25 جزء بالمليون في المادة الجافة .

الجزر

ظهور بقع برونزية وحروق على حافة الورقة كما يلاحظ تشعب جذر الجزر الواحد الى عدد من التوائم والملتحمة من اعلى مع تغطيتها بشعيرات جذرية كثيفة . كما ان النبات نفسه يكون متقزماً أي صغير الحجم .

التبغ

الاوراق الحديثة التكوين تكون فاتحة اللون اما الانسجة الواقعة بين العروق الرئيسية فتصبح خضراء فاتحة اللون وغالباً ماتكون بيضاء في حين تظل العروق محتفظة بلونها الاخضر ومع تقدم الاصابة تظهر بقع ميتة بين العروق الرئيسية للاوراق ويكون النبات بوجه عام صغير الحجم .

البزاليا

يلاحظ ظهور بقع سمراء موازية لعروق الورقة وأخيراً تصبح الورقة صفراء بينما تظل عروق الورقة خضراء . تظهر اعراض مشابهة على اللوبيا وفستق الحقل ويلاحظ في مثل هذه النباتات بالاضافة الى ماسبق ذكره ظهور مرض Marsh Spot على بذورها .

الخيار

ظهور اصفرار فيما بين العروق الرئيسية على الاوراق المتوسطة اما العروق فتكون خضراء وتكون الاعراض هنا من حيث المظهر شبيهة بنقص الحديد ، اما في الاوراق الحديثة فتظل العروق الرئيسية للورقة مع منطقة تحيط بها وخاصة بالقرب من عنق الورقة محتفظة بلونها الاخضر الداكن .

البطاطا

يلاحظ ظهور بقع منتشرة بشكل كبير على جميع نصل الورقة تقريباً وخاصة فيما بين العروق مع احتفاظ العروق بلونها الاخضر .

(د) علاج نقص المنغنيز :

يمكن استعمال احد الطرق الآتية والتي

(1) اضافة املاح المنغنيز للتربة وخاصة كبريتات المنغنيز $MnSO_4$ وتتوقف الكمية المضافة على تفاعل التربة (pH) فعلى سبيل المثال اشارت المراجع الى : -

أ - التربة المتعادلة والخفيفة الحامضية يضاف لها من 15 الى 30 كغم من $MnSO_4$ للدونم.

ب - التربة المتعادلة والخفيفة القاعدية يضاف لها من 30 الى 60 كغم من $MnSO_4$ للدونم.

ج - التربة الشديدة القاعدية يضاف لها من 60 الى 120 كغم من $MnSO_4$ للدونم.

(2) استخدام طريقة رش النباتات بأملح المنغنيز حيث تكون أكثر فاعلية واقل كلفة من الناحية الاقتصادية حيث تستخدم محاليل $MnSO_4$ بتركيز من 0.1-1% او من 1-2% من المنغنيز الخلي.

ان استخدام طريقة الرش أو اضافة المنغنيز الخلي للتربة مباشرة تعد من اجسن الطرق لعلاج النقص وخاصة في الترب القاعدية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم.

وبما تجدر ملاحظته هو تساقط الاوراق في مرحلة مبكرة من النمو والتي تبدأ من قمة النبات مسببة ظاهرة الموت التراجعي (Dieback) كما يلاحظ تشوه الاوراق حيث تكون قمة الورقة رفيعة ومدببة .

كما ذكر أن ثمار الخوخ تكون عرضة للتمزق وكذلك تشوه ثمار الموز حيث يكون العنقود الثمري صغير الحجم وتكون الاصابع صغيرة وعلى نهايتها نتوءات خضراء شبيهة بالشعر .

إن السمية بالمنغنيز تسبب غالباً نقصاً بعنصر الحديد كما انه ليس غريباً ظهور نقص عنصري الحديد والمنغنيز على نفس النبات حيث تكون الاوراق العلوية مصابة بنقص الحديد في حين الاوراق المتوسطة والسفلية مصابة بنقص المنغنيز وهذه الحالة قد شوهدت في اشجار العنجاوص .

وقد يحدث التباس في تشخيص نقص عناصر المغنيسيوم والمنغنيز والحديد ونود هنا ان ننبه الى ذلك حيث ان نقص المغنيسيوم يظهر اولاً على الاوراق القديمة في حين ان احدث الاوراق تكون هي المعرضة لنقص الحديد اما نقص المنغنيز فغالباً ما يبدأ على الاوراق المتوسطة .

3.2.7 - الزنك (Zn) Zinc

(أ) فكرة عامة

يوجد الزنك في الطبيعة بكميات تفوق كثيراً كميات النحاس وقد تصل الى اكثر من 100 مرة . وهو يوجد في القشرة الارضية بمحدود 80 جزء بالمليون ، أما في الترب فتبلغ تراكيزه من 10-300 جزء بالمليون معتمداً في ذلك على نوع التربة ومحتواها من الطين والمادة العضوية ودرجة تفاعلها . حيث لوحظ عند pH من 5.5-6.5 أن تركيز الزنك الجاهز للامتصاص يكون منخفضاً جداً حيث يشكل خطراً حقيقياً على نمو النباتات . كما تبين أن تراكيز الزنك الجاهز للامتصاص تكون قليلة في كل من الترب الرملية والترب الطينية ذات المحتوى العالي من المواد العضوية حيث أشارت الدراسات أن الزنك يكون مركبات معقدة مع المادة العضوية وهذه تكون غير جاهزة للامتصاص والمعروف ان الزنك يمتص فقط على الصورة الثنائية التكافؤ اما عملية امتصاص الزنك الخلي فهي حسب رأي (Halvorson and Lindsay 1977) غير ممكنة .

وعموماً تعتمد مستويات الزنك في الترب على المادة الاصلية (Parent material) التي نشأت منها هذه الترب . وتعتبر الترب المتكونة من الصخور النارية عالية المحتوى من الزنك أما تلك التي تكونت من الصخور السليكاتية الحامضية تكون منخفضة المحتوى من الزنك وبالتالي أيضاً من الزنك الجاهز للامتصاص .

يمكن حدوث احلال متماثل (Isomorphous replacement) للزنك محل كل من الحديد والمغنيسيوم نظراً لتقارب أنصاف أقطارها الايونية في معادن التربة مثل الاوجيت والبيوتيت والهورنبلند . بالإضافة الى ذلك فان الزنك يدخل في تكوين عدد من الاملاح والتي من أكثرها انتشاراً في الطبيعة هو ZnS ، $(ZnFe)S$ الـ (Sphalerite) و ZnO (Zincite) ، $ZnCO_3$ (Smitsonite) . وفي بعض أنواع الترب يمكن أن يتواجد الزنك على شكل سليكات مثل $ZnSiO_3$ أو $ZnSiO_4$ (Willemite) . إن ثلثي كمية الزنك توجد في الطبقة السطحية للتربة حيث ان بقايا النباتات تشكل بعد تفسخها مصدراً جيداً له .

هذا ويقدر ما يمتص من الزنك بواسطة النباتات بحوالي 25 الى 75 غم في حين تمتص النباتات ما يقرب من 125 الى 250 غم Mn للدونم .

إن محتوى النبات من الزنك يبلغ عدة أضعاف محتواه من النحاس او المولبدنم ، والذي يتراوح من 20 الى 100 جزء بالمليون . ويعتبر التركيز الحرج للزنك في النباتات هو 20 جزء بالمليون والذي تبدأ عنده النباتات تعاني من نقص الزنك

وتعتبر نسبة الفسفور الى الزنك في النبات من المؤشرات المساعدة لوجود نقص الزنك في النبات فقط أعطى (Rahimi and Bussler, النسبة 211 و 231 في كل من الاوراق القديمة والحديثة والتي يظهر عند الزنك لنبات الذرة الصفراء . وهذا يتعارض عما ذكره (Blasl and Mayr) واللذان أعطيا النسبة 65 للـ P^- Zn والتي حققت نمواً صحياً للذرة الصفراء .

أما (Marschner and Schropp, 1977) فقد اقترحا النسبة P^-/P 100 و 1000 في المادة الجافة في حالة الزراعة في كل من التربة والمزارع على التوالي لنبات العنب .

إن تحرك الزنك في النبات قليل ولكنه أفضل من تحرك عناصر البورون والمولبدنم . كما إن تحركه في الاوراق الحديثة أفضل منها للـ القديمة .

(ب) وظائف الزنك في النبات

- ١) يقوم الزنك بتنشيط عدد من الانزيمات والتي منها
 - أ - ينشط أنزيم الـ enolase كما في حالة عنصري الـ Mn ، Mg .
 - ب - في الفترة الاخيرة تم اكتشاف عدد من الانزيمات والتي يدخل الزنك تكوينها وهي Lactic acid dehydrogenase ، itamic acid, dehydrogenase ، وكذلك في Alcohol dehydrogenase, Proteinases والـ Peptidases كما أشار الى ذلك (Vallee, 1970 and Wacker) .
 - ج - يعتبر عنصر الزنك متخصصاً لانزيم Carbonic anhydrase حيث يـ كعامل مساعد للتفاعل : -

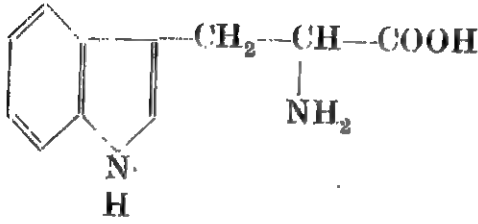


إن وجود هذا الانزيم في البلاستيدات الخضراء وعلي وجه التحديد (Stroma) يعمل كمنظم (buffer) للرقم الهيدروجيني (pH) المرتب بضخ الهيدروجين (H-pump) وبالتالي فهو يعمل على حماية البروتينات ، فقدان طبيعتها وحيويتها (Denaturation) كما أنها تعمل على تحليد النبات من CO_2 السام نتيجة لاندماجه في ribulose-1,5-diphosphate

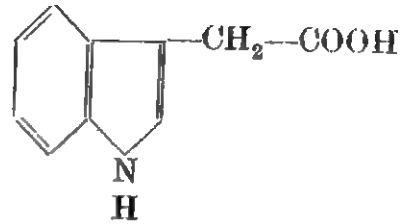
ومن جهة اخرى فان هذا الانحلال قد يساهم في عملية امتصاص النبات لعناصره الغذائية (Mengel 1968).

(د) انه منخفض لبروتينات السايتركرومات ولا تستطيع عناصر الحديد والنحاس او المنغنيز تعويضه في ذلك.

(2) يحتاج اليه في تكوين الحامض الاميني Tryptophan والذي يتكون منه الهرمون IAA (Indole acetic acid) الضروري لاستطالة الساق او الخلايا عموماً.



Tryptophan



Indole acetic acid (IAA)

(3) ضروري لعملية الفسفرة وتكوين الكلوكوز وبالتالي فان نقصه يوقف عملية تمثيل النشأ. كما ان نقصه يسبب تراكم الدهون والفسفوليبيدات مثل الليشين وكذلك تراكم المركبات الفينولية في الفجوة العضارية.

كما لوحظ تراكم لون بني ناتج عن تجمع بلورات اكسالات الكالسيوم والمركبات التانينية في النسيج المتوسط للورقة.

(4) يساعد في عملية تكوين الكلوروفيل ويرجع ذلك لتأثيره المباشر على عمليات تكوين الاحماض الامينية والكربوهيدرات ومركبات الطاقة.

(5) نقصه يؤثر على تكوين حبوب اللقاح. كما تبين أهميته في انقسام الخلايا وتكوين الخلايا المرستيمية الثانوية وعليه فهو ضروري لزيادة سمك الخلايا.

(6) يزيد من تكوين فيتامين C وكذلك مجموعة فيتامين B المعقدة (Vitamin B-Complex).

(7) إن للزنك دوراً في تحولات عنصر النتروجين حيث ثبت أهميته في عملية تكوين RNA الضروري في عملية تكوين البروتين.

(ج) أعراض نقص الزنك

يطلق على نقص الزنك مصطلحات كثيرة أهمها تقزم أو صغر حجم الورقة (Little Leaf) وكذلك تورد التفاح (Rosette of apple) حيث تكون السلاميات

قصيرة والأوراق متجمعة بشكل يشبه باقة الورد . وايضاً في الحمضيات يدعى نقصه بالـ Mottle Leaf or Frenching of citrus . إن التبقع والاصفرار الموازي للمروق الرئيسية وصغر حجم الأوراق وزيادة سمكها وتشوهها والتي تكون هشة سهلة التكسر تعتبر من أهم سمات نقص الزنك . وبالرغم من ذلك فهناك أعراض مميزة يميز بها نقص العنصر والتي تختلف باختلاف النباتات كما يتضح ذلك فيما يلي : -

النجليات

في النجيليات وخاصة نبات الذرة الصفراء ظاهرة بياض البرعم الطرفي (White bud) حيث تصبح الأوراق القمية بيضاء اللون تماماً وقبل هذه المرحلة وعلى الأوراق القديمة يلاحظ تكون شريط أصفر بعرض 2-3 سم في كلا نصفي نصل الورقة ويكون موازياً للعرق الوسطي للورقة ويظل العرق الوسطي والمنطقة المحيطة به وخاصة منطقة اتصال الورقة بالساق محتفظين بلونها الأخضر .

البقوليات

تظهر الأعراض أولاً على الأوراق القديمة حيث يلاحظ وجود موت موضعي على قمة وحواف الأوراق والتي تكون بنية غامقة مع انحناء حواف الأوراق للأعلى . يحدث تساقط للأوراق القديمة وكذلك تساقط العديد من الأزهار . وقد لا تتكون القنرات وإذا ما تكونت القنرات يكون عدد بذورها قليل وصغيرة الحجم . ويكون المظهر العام للنبات متقرناً .

البطاطا

تقريباً نفس أعراض البقوليات إلا أن حواف الأوراق المنحنية للأعلى تكون ما يشبه البوق أي ملعقية الشكل .

الطماطة

يحدث تقزم شديد للنبات بحيث لا يتجاوز ثلث النبات العادي ، والساق رفيعة مع انحناء حواف الوريقات للأعلى كما في البطاطة وحدث تبقع غير منتظم على الأوراق . كما يحدث انحناء الأوراق وأعناقها للأسفل حيث تكون متدلّية للأسفل بشكل يشبه الاعلام المنكسة . وكلما اتجهنا إلى أعلى النبات كلما صغر حجم الأوراق والأوراق الحديثة تكون أكثر سمكاً وتكون أيضاً صلبة وهشة سهلة التكسر .

الرملية الحامضية يفضل رش النباتات لسهولة غسل الزنك منها وكذلك بالنسبة للترب القاعدية والتي لها القابلية العالية على تثبيت الزنك فيها .

وبالرغم من الافكار والاراء التي نادت بعدم جدوى استخدام مركبات الزنك المخلبية في الماضي بسبب درجة ثبويتها العالية الا انه في الاونة الاخيرة قد تبين بطلان هذه الادعاءات حيث اشارت الدراسات الى نجاح اضافة مركبات الزنك المخلبية مثل Zn-EDTA اما رشا على النباتات او اضافتها للتربة مباشرة (Mengel, 1982).

4.2.7 - البورون

(أ) فكرة عامة :

يوجد البورون في التربة بشكل رئيسي على هيئة حامض البوريك (H_3BO_3) أو على شكل ايونات البورات التي تتواجد في محلول التربة او متبادلة على غرويات التربة . يعتبر معدن التورمالين (Tourmaline) والذي يحتوى على 10% بورون من اكثر معادن البورون انتشاراً في التربة وهو يقاوم بشدة عمليات التجوية ولذلك فانه لا يساهم كثيراً في مستويات البورون الجاهز للنباتات . تعتبر الصخور الرسوبية والترسيبات البحرية او النهرية غنية بالبورون مقارنة بالصخور النارية . وتبلغ مستويات البورون في الصخور الرسوبية بما يقرب من 100 جزء بالمليون في حين ان مستواه في صخر الجرانيت الناري هو حوالي 15 جزء بالمليون وبوجه عام فإن مستويات البورون في الترب هي بحدود 7 الى 80 جزء بالمليون كما اشار ذلك (Krauskopf, 1972).

ان ترب المناطق الرطبة وخاصة تلك التي تترشح منها المياه بسهولة مثل ترب البدزول الحامضية تعاني غالباً من نقص البورون .

ان المواد العضوية تحتوى على كميات لا بأس بها من البورون والتي يتم تحرير البورون منها بواسطة احياء التربة المجهريّة . ولهذا السبب اذا ما تصادف وجود فترة او موسم جفاف بعد هطول امطار غزيرة في الفترة السابقة وخاصة في الترب الرملية والتي يغسل منها البورون بسهولة فإن ذلك يزيد من شدة تعرض النباتات للنقص الشديد بالبورون حيث يقل في هذه الحالة اعداد ونشاط احياء التربة المجهريّة المسؤولة عن تفكك المركبات العضوية والاحتوية على البورون وتحريره منها الى محلول التربة .

يزداد امدصاص البورون بزيادة الرقم الهيدروجيني (pH) بعكس امدصاص
ايونات الفوسفات والمولبدات حيث سجل اعلى امدصاص للبورات ما بين pH 7 و
9 .

ان قدرة معادن الطين على امدصاص البورات واحتفاظها بها يفوق كثيراً ال
(Sesquioxides)، كما ان قدرة ال $Al(OH)_3$ هي اشد تأثيراً في ذلك من ال
 $Fe(OH)_3$ كما اشار الى ذلك (Sims, and Bingham, 1968) . وقد يعزى
السبب في قلة جاهزية البورون بزيادة محتوى الترب من كربونات الكالسيوم الى
تأثيرها المباشر في رفع تفاعل التربة وبالتالي زيادة امدصاص البورون في هذه الترب
والتي تمسكه بشدة وتمنع تحرره الى محلول التربة . وبصفة عامة فإن الترب التي
يكون محتواها اقل من ١ جزء بالمليون تظهر استجابة للتسميد بالبورون .

يتمص البورون في صورة ايونات البورات والتي منها BO_3^{-3} أو
 $B_4O_7^{-2}$ أو $H_2BO_3^{-}$ أو HBO_3^{-2} .

وبسبب التحرك القليل للبورون في داخل النبات لذا يجب ان يكون متوفراً
بصورة جاهزة للنبات بشكل مستمر . ويجب ان يلاحظ ان الاحتياجات من
البورون تختلف كثيراً باختلاف النبات وكذلك باختلاف العضو النباتي ، فعلى
سبيل المثال يحتاج الجت الى ما يقرب من 0.001 جزء بالمليون بينما تحتاج
البزاليا الى حوالي 0.05-2.5 جزء بالمليون في حين ان نبات عباد الشمس يتطلب
حوالي 10 جزء بالمليون ولهذا السبب يعتبر نبات عباد الشمس نبات حساس
لاظهار نقص البورون في حالة قلة جاهزية البورون في التربة . بينما أدت تراكيز 2
و 3 جزء بالمليون في المحاليل المغذية التي سقي بها الشعير الى احداث سمية وحرق
معظم اوراق النبات . وبناء على ذلك فيمكن استخدام كل من نباتي عباد الشمس
والشعير كدليل نباتي في الحقل مع المحاصيل الرئيسية للاستدلال بواسطتها عما اذا
كانت النباتات تعاني من النقص او السمية بهذا العنصر في حالة تعذر او عدم توفر
الامكانيات لأجراء فحوص مختبرية للتربة او العينات النباتية .

وما تجدر الاشارة اليه ان محتوى البورون يزداد كلما اتجهنا من اسفل النبات
الى اعلى النبات بمعنى ان قمم السيقان والاوراق العلوية تحتوي بورون بدرجة
أكبر من الاوراق المتوسطة أو السفلية أو الجذور . كما ان محتوى البذور والثمار
يكون عادة أقل من الاوراق كما يتضح من الجدول (5-7) .

كما ان نتائج مشابهة قد توصل اليها (Syworotkin, 1958) لنبات الخشخاش
(Opium poppy) .

إن المحتوى الاعتيادي لعدد كبير من النباتات هو بمحدود 20 جزء بالمليون .

جدول (5-7) تركيز البورون بالاجزاء بالمليون في الاعضاء النباتية .
عن : (Mengel, 1968)

أجزاء النبات	البورون جزء بالمليون في المادة الجافة (ppm)
الاوراق العلوية	45.1
الاوراق المتوسطة	34.3
الازهار	21.2
الساق	17.3
الجذور	20.3
الثمار	21.0

(ب) وظائف عنصر البورون في النبات

بالرغم من الدراسات العديدة التي اجريت فيما يتعلق بهذا العنصر وأهميته للنبات الا ان الغموض فيما يتعلق بوظائفه الفسلجية مازال سائداً ولا تزال الصورة غير واضحة وتحتاج الى المزيد من الدراسة للكشف عن طبيعة وماهية تأثير هذا العنصر ويرتأي الباحثون ان البورون دوراً فيما يلي :-

(1) يشترك في عملية نقل السكريات حيث يميل للارتباط مع مجاميع الـ OH العائدة للمركبات العضوية مثل السكريات المتعددة وعليه فهو يشبه عناصر Si و Al و P حيث يكون معها استرات . إن الارتباط مع مجاميع الـ OH للمركبات العضوية يعمل على تثبيت بناء الاغشية السايوبلازمية مما يزيد من نفاذيتها .

(2) وبالرغم من أن البورون ليس جزءاً من نظام الانزيم وانه لايقوم مثل عناصر Mg و Mn و Zn بربط الانزيم بالمادة المتفاعلة وانه لا يقوم بتغيير تكافئه مثل عناصر Fe و Zn و Mn و Cu و Mo (بمعنى عدم اشتراكه في عملية نقل الالكترونات) فقد تبين في السنوات الاخيرة بأن البورون ينشط بعض الانزيمات مثل Catalase و Proxidease وبعض Oxidases (مثل B-Fructofuranoxidase و Amylase و Saccharase) .

(3) يفترض بأن له دوراً في تكوين البكتين واللكنين حيث ان 50% من البورون يوجد في الجدار الخلوي مثل الكالسيوم . ولقد وجد في حالة نقصه بأن

الخشب يكون طويلاً ورفيعاً وعدم تحول خلايا الكامبيوم الى الخشب او اللحاء . كما لوحظ في حالة نقصه حدوث تجمع الكربوهيدرات البسيطة وعدم تحولها الى السليلوز او اللكتين الضروري لتكوين الجدار الخلوي .
(4) كما انه ضروري لانقسام الخلايا وانتاج حبوب اللقاح وعملية الاخصاب وهذا يوضح موت البرعم الطرفي كما في حالة نقص الكالسيوم للنباتات التي تعاني من نقص البورون .

(5) اشارت الدراسات الى أهميته في عملية تكوين البروتين وذلك من خلال أهميته في تثبيت النتروجين الجوي حيويًا وكذلك من خلال تأثيره على عملية تكوين الحامض النووي (RNA) في هذه العملية .
(6) تبين أن له دوراً في تكوين الهرمونات النباتية .

(7) يعمل على زيادة المحتوى من فيتامين C وكذلك مجموعة فيتامين B المعقدة .
(8) يرفع كفاءة النباتات في مقاومة كثير من الامراض الفطرية والفايروسية والحشرات لتأثيره في رفع قدرة النبات على تكوين الـ Leucoanthocyanin .

(9) يشترك في عملية حفظ التوازن المائي لخلايا النبات والتي قد ترجع الى أهميته في رفع كفاءة النبات في امتصاص البوتاسيوم حيث لوحظ في حالة التغذية الجيدة بالبورون زيادة امتصاص النبات للبوتاسيوم بعدة مرات مقارنة بالنباتات التي كانت تعاني من النقص بعنصر البورون .

(ج) اعراض نقص عنصر البورون

لا تختلف اعراض نقص البورون باختلاف انواع النباتات فحسب ولكنها تختلف ايضاً بتباين العضو النباتي ولكن بشكل عام يمكن اجمال ما يلي : -
(1) تقزم النبات وموت البرعم الطرفي او نهايات الاغصان وتشوه الاوراق حيث تكون صغيرة ومجمدة وسميكة مع قصر السلاميات والتي تبدو منتفخة وممزقة وكذلك تمزق اعناق الاوراق مع قصرها كما في حالة العنب . وكذلك ضعف المجموع الجذري مع قلة عدد التفرعات الجانبية والتي تكون قصيرة وسميكة ذات نهاية منتفخة بنية اللون وقد تكون لزجة مخاطية كما في حالة الحمضيات . كما ان هناك صفة مميزة في حالة نقص البورون حيث يلاحظ حدوث تجمع لاوراق صغيرة الحجم ومشوهة ومتراكمة على بعضها على شكل خصلة مع تساقط الاوراق كلية اسفلها بحيث تبدو الافرع او الاغصان بشكل المكنتسة ويطلق على هذه الظاهرة (Witch's broom) اي عصا العرافة او المكنتسة السحرية . كما يلاحظ قلة عدد البذور والثمار اذا ما تكونت وتكون بالطبع صغيرة الحجم وعليها تشوهات تختلف حسب نوع الثمار . وسنتناول فيما يلي نبذة مختصرة عن أهم هذه التشوهات :

Crown rot and brown heart disease بـ البنجر السكري يصاب
وهو عبارة عن تعفن التاج ومرض القلب البني .

Internal and external cork بـ التفاح يصاب
حيث يسبب تراكم فلينية بنية الشكل على الثمار والتي قد تمتد الى داخل
لحم الثمار .

الرمان والبرتقال والطماطة
حدوث تمزق وتشقق الثمار والتي قد تشمل لحم الثمار نفسها .

القطن
تمزق قاعدة الجوزة وتساقط البذور منها علاوة على صفرها في الحجم وقلة
عددها .

الذرة الصفراء
قلة عدد العرائص وصفر حجمها علاوة على حدوث اعوجاج وانحناء فيها .
ويظهر على العرنوص حبات كبيرة جداً وحبات صغيرة كما ان جزءاً من العرنوص
يكون خالياً تماماً من الحبوب ويطلق على هذه الظاهرة الدجاجة وافراخها
. Hen and chicken disease
ونفس هذا المرض يظهر بشكل واضح على العنب علاوة على خروج العصارة (نزير
العنب) .

Hollow heart بـ الكرزات تصاب
حيث تظهر مساحات فارغة في مركزها كما في الجوز وتدعى بالقلب الفارغ او
القلب الخالي .

العرموط
تشوه الثمار بشكل كبير حيث تبدو الثمار وكأنها بيضاوية الشكل يظهر عليها
انتفاخات وانخفاضات .

الكرفس والمعدنوس
القلب الاسود Black heart كما في حالة النقص بالكالسيوم وهنا يكون تحليل
التربة والنبات امراً ضرورياً .

البطاطا

ظهور قشور وتمزق غلاف الدرنات .

البطاطا الحلوة

ظهور بقع سمراء وتراكيب فلينية .

القرنبيط

صغر حجم الزهرة وتلونها بلون بني ويمتد هذا اللون ليشمل سوق الزهرة نفسها وهذه الحالة غير موجودة عند النقص بعنصري الفسفور والمولبدنم .

الزيتون يصاب بـ Monkey face

ظاهرة وجه القرد حيث يكون الجزء العلوي من الثمرة غير متكون وتعطي الثمرة في هذه الحالة شكلاً يشبه وجه القرد .

الحمضيات

قلة عدد الثمار وصغر حجمها وعصارتها قليلة مع انخفاض نسبة السكر وزيادة الحموضة فيها .

عباد الشمس

قد لا يتكون القرص واذا ما تكون يكون صغير الحجم ومشوهاً مع قلة عدد البذور وصغر حجمها .

(د) علاج نقص البورون

تستخدم عادة مادة البوراكس (Borax) وهي عبارة عن بورات الصوديوم $(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O)$ والتي تحتوي على 11.36% B كما يمكن استخدام حامض البوريك H_3BO_3 وهو حامض ضعيف جداً ولذلك فإنه قد يستخدم قطرة للعين دون ان يسبب لها اي ضرر .

وبالنسبة لمعظم انواع المحاصيل يستخدم عادة من 2-4 كغم من مادة البوراكس للدونم . وهذه يمكن اضافتها للتربة او رشها على النباتات .

وما يجدر الاشارة اليه ان البورون يعتبر من أشد العناصر الغذائية الصغرى خطورة في احداثه السمية على النباتات في حالة الانحراف حتى ولو كان طفيفاً عن التركيز المثالي للنبات ولذلك يجب التعامل معه بحذر ويفضل دائماً استخدام مخاليل

مخففة جداً منه وتكرار عملية الرش خشية من السمية التي قد يسببها على النباتات . وتحدث السمية غالباً في المناطق الجافة وشبه الجافة مثل تسمم اشجار اللوز في منطقة برج العرب في جمهورية مصر العربية .

5.2.7 - النحاس (Cu) Copper

(أ) فكرة عامة

يعتبر النحاس الى جانب عنصري الذهب والفضة من أقدم العناصر التي عرفها الانسان حيث استعملت منذ القدم كزينة وكذلك كعملات نقدية ولا تزال تستخدم كميداليات في النشاطات الرياضية كالالعاب الاولمبية وغيرها . ويشكل النحاس نسبة لاتزيد عن 0.0001% من قشرة الأرض . أما النحاس الهكلي في الترب فيوجد بمحدود 5-50 جزء بالمليون . أما النحاس الجاهز في محلول التربة فهو لايزيد عن 0.01 جزء بالمليون . والنحاس المتواجد طبيعياً يوجد بشكل نقي تقريباً حيث تصل نقاوته حوالي 99.9% والذي يوجد على شكل السلفايد (Cu_2S) و (CuS) . غير ان اكثر مركبات النحاس شيوعاً هي كبريتات النحاس المائية $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ والتي تعرف بالحجر الازرق وقد استخدمت هذه المادة منذ القدم في مكافحة كثير من الامراض الفطرية حيث استخدمت مع الحجر الجيري كخليط والذي يعرف بـمخليط أو محلول بوردو (Bordeaux) كمضاد للفطريات في فرنسا بالقرب من مدينة بوردو منذ أكثر من مائة سنة .

وما تجدر الاشارة اليه ان النحاس مقارنة بالكاتيونات الاخرى يمدص بقوة على سطوح التبادل كما ان ارتباطه مع المادة العضوية يكون بقوة كبيرة تفوق كاتيونات العناصر الصغرى كالمنغنيز والزنك .

ولقد وجد ان اكثر من 98% من نحاس التربة يكون على شكل مركبات عضوية وهذه تكون بطبيعة الحال غير جاهزة للنبات كما انها تقلل من تحرك النحاس الى الاسفل ولذلك نجده غالباً في الطبقة السطحية من التربة . وفي احدى الدراسات اضيف للتربة مقدار 18 كغم من $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ للدونم وبعد مرور خمس سنوات اخذت عينات من التربة وفحصت فوجد ان 17 كغم من كبريتات النحاس المضافة متواجدة في الطبقة السطحية العلوية وهذا يرجع الى ارتباط النحاس بقوة مع المادة العضوية وتقليل حركته الى اسفل .

يعتبر تفاعل التربة ومحتواها من المادة العضوية وكربونات الكالسيوم ورطوبة التربة ونوع المحاصيل المزروعة سابقاً في الدورة الزراعية ووجود الكبريتات التي تكون مع كبريتيد النحاس غير الذائب من أهم العوامل التي تؤثر على جاهزية النحاس في التربة . وفي الآونة الاخيرة برزت وبشكل خاص أهمية الاسمدة الفوسفاتية في تأثيرها على جاهزية العناصر الغذائية الصغرى والتي منها النحاس .

يتمص النبات النحاس في الصورة الشنائية التكافؤ Cu^{2+} كما في حالة عناصر Fe^{2+} و Mn^{2+} و Zn^{2+} الا انه يوجد في النبات بتركيز اقل منها كثيراً وبصورة عامة تتراوح من 2 الى 20 جزء بالمليون في مادة النبات الجافة (عادة اقل من 10 جزء بالمليون). وهذا يبلغ تقريباً عشر محتوى النبات من المنغنيز. والجذور تحتوي على الجزء الاعظم من النحاس مقارنة بالاجزاء النباتية الاخرى فعلى سبيل المثال في نبات الشوفان كان محتوى النحاس 7.9 و 2.4 و 2.8 جزء بالمليون في كل من الجذور والقش والحبوب على التوالي.

(ب) وظائف عنصر النحاس في النبات

(1) أوضحت الدراسات ان حوالي 70% من النحاس الكلي في الاوراق يوجد في البلاستيدة الخضراء وهذا يوضح دوره في عملية التركيب الضوئي حيث ان الدراسات الحديثة (Bishop, 1966) و (Boardman, 1975) قد أكدت ماسبق وان اقترح من قبل (Arnon, 1950) بأن النحاس ضروري لعملية التركيب الضوئي حيث بينت الدراسات الحديثة دوره في عملية نقل الالكترونات من الماء الى $NADP^+$ فيما يسمى بتفاعل هل (Hill Reaction) وهو تحويل الطاقة الضوئية الى طاقة كيميائية. كما ان هناك دراسات تشير كذلك الى اشتراكه في عمليات الاكسدة والاختزال في سلسلة النقل الالكتروني (Electron Transport Chain) في التنفس الهوائي وفي التركيب الضوئي وهذا يعود الى دخول النحاس في تكوين الكلوروبلاست للبروتين بلاستوسيانين (Plastocyanin). بالاضافة الى ان الانزيمات التي تحتوي على النحاس تساعد في التفاعلات التي تحتل جزيئة الاوكسجين. وتشمل هذه الانزيمات انزيم (Cytochrome Oxidase) بالاضافة الى عدد آخر من الانزيمات مثل (Ascorbic acid Oxidase) و (Tyrosinase) والذي يسمى ايضاً (Polyphenol Oxidase).

إن اكسدة الفينولات وتحولها الى O-Quinone وتجمع الـ O-Quinone يعمل على رفع درجة عملية البلمرة Polymerization والتي يتم بواسطتها تكوين مركبات الميلانين (Melanin) ذات اللون القهوائي وهذه المركبات تتكون عند قطع ثمار الفاكهة كما في التفاح والعرموط او عند قطع البطاطا وتعرضها الى الهواء الجوي.

(2) أوضحت الدراسات الحديثة اشتراك الانزيمات الحاوية على النحاس في تقليل التشبع (Desaturation) وتكوين الهيدروكسيل للحامض الدهني كما في حالة تقليل تشبع Stearic Acid وتكوين Oleic acid.

- (3) ثبت أهميته في عملية تكوين البروتين من خلال دوره في زيادة تثبيت النتروجين الجوي وكذلك من خلال رفع قدرة النبات على زيادة تكوين الاحماض النووية الـ DNA و RNA المهمة في عملية تكوين البروتين . وبالفعل لوحظ تجمع للامونيوم وكذلك انخفاض في مستويات الـ DNA في الاجزاء النباتية التي تعاني من نقص النحاس . كما ان النحاس ضروري في عملية اختزال النترات (Possingham, 1956) و (Ozolina, 1965, and Lapina).
- (4) يعمل النحاس على رفع كفاءة النبات لعملية التركيب الضوئي وذلك من خلال دوره في ثبات جزيئة الكلوروفيل وحمايتها من الهدم المبكر . كما ظهر ان العمليات الحيوية للكربوهيدرات تتأثر في النبات الذي يعاني من نقص النحاس حيث تكون مستويات السكر المختزلة قليلة بينما يحدث تجمع للاحماض العضوية (Brown et al., 1958).
- (5) كما في حالة K ، Zn ، Mn ، B ، Mo يزيد من كفاءة النبات في تكوين فيتامين C .

(ج) اعراض نقص النحاس

النباتات التي تحتوي على اقل من 4 جزء بالمليون في مادتها الجافة تكون عادة معرضة لظهور اعراض نقص النحاس . تظهر اعراض نقص النحاس على الاوراق الحديث للنبات وتتميز اعراض نقصه في النجيليات بأن تكون حجم الاوراق بيضاء اللون والاوراق رفيعة ملتوية وقمتها معقوفة الى الاسفل . والنبات يكون متقرماً مع ظهور نموات كثيفة اسفل المنطقة الميتة والتي سرعان ما تموت ايضاً ويصبح شكل النبات كثيفاً كما في حالة نقص عنصري الكالسيوم والبورون وقد لا يحدث تكون للسنبلة واذا تكونت قد تكون فارغة او جزء منها فارغاً .

كما يسبب الموت التراجعي للاغصان او قمة الشجرة Dieback وفي الحمضيات يطلق على نقص النحاس مرض الاكزانثما (Exanthema) وفي كاليفورنيا يطلق عليه (Ammoniation) او (Dieback) . ويلاحظ أن الافرع تكون معوجة بشكل حرف S كما يلاحظ تكون جيوب صمغية ما بين القشرة والخشب حيث تبدو اباط البراعم منتفخة وكذلك ملاحظة الصمغ على جدد الشجرة من الخارج بوضوح . ويلاحظ كذلك تكون بقع صمغية على الثمار مع ظهور بقع سوداء على الثمار قد تمتد الى داخل الثمرة نفسها كما في حالة التفاح وهذه الحالة موجودة في الحمضيات بالطبع .

وقد تتمزق الثمار علاوة على زيادة سمك ثمار الحمضيات وقلة عصارتها .

كما قد يحدث انحناء لحواف الاوراق بشكل ملعقي او بشكل المسحاة مع حدوث ذبول للاوراق كما في نقص البوتاسيوم حيث تكون الاوراق متدلية للأسفل بشكل يشبه العلم المنكس .

وفي البصل تكون القشرة رفيعة جداً وصفراء شاحبة ولا تأخذ لونها الطبيعي المحمر وتكون البصلة طرية وعرضة للتلف في المخازن .

اما في الخيار فيلاحظ تقزم النبات وقصر السلاميات او عدم تكون الازهار والثمار كما في عباد الشمس او عدم تكون جذور الشلغم .

وكذلك يلاحظ حدوث موت موضعي مسود كما في ثمار العرموط او محمر وكذلك مسود كما في التفاح او اصفر مخضر كما في الخوخ والعنجاص .

(د) علاج نقص النحاس

تستخدم طريقة الرش بمحلول 0.05% من كبريتات النحاس او اضافة مقدار 0.25 الى 2.5 كغم نحاس لكل دونم وعادة تستخدم كبريتات النحاس .

وبالنسبة لمحاصيل الخضر او المحاصيل الحقلية ينصح باضافة 5-6 كغم نحاس لكل دونم (1972 Murphy and Walsh) .

إن الرش بمحاليل ذات تركيز اعلى من 0.2 الى 0.5% نحاس وكذلك في الترب الحامضية وخاصة ذات المحتوى العالي من المادة العضوية او اضافة المخلفات الحاوية على النحاس لهذه الترب بصورة مستمرة ويسبب المعدل القليل الذي يفصل من النحاس الى طبقات التربة العميقة كما ذكر سابقاً فانه يظهر على النباتات السمية بعنصر النحاس والتي تشبه غالباً اعراض نقص الحديد حيث يظهر اصفرار على حواف الاوراق والتي قد تتحول الى مناطق ميتة منحورة مع اشتداد اعراض السمية .

6.2.7 — المولبدنم Molybdenum (Mo)

(أ) فكرة عامة

يبلغ المحتوى الكلي للمولبدنم في معظم الترب الزراعية من 0.6 الى 3.5 جزء بالمليون (1955, Swaine) وبمعدل 2 جزء بالمليون تقريباً . أما معدل المولبدنم الجاهز فيتراوح حوالي 0.2 جزء بالمليون (1973, Cheng and Quellete) . يختلف محتوى الترب من المولبدنم طبقاً لمادة الأصل التي نشأت منها تلك الترب .

كما قد يحدث انحناء لحواف الاوراق بشكل ملعقي او بشكل المسحاة مع حدوث ذبول للاوراق كما في نقص البوتاسيوم حيث تكون الاوراق متدليلة للأسفل بشكل يشبه العلم المنكسر .

وفي البصل تكون القشرة رفيعة جداً وصفراء شاحبة ولا تأخذ لونها الطبيعي الأحمر وتكون البصلة طرية وعرضة للتلف في المخازن .

اما في الخيار فيلاحظ تقزم النبات وقصر السلاميات او عدم تكون الازهار والثمار كما في عباد الشمس او عدم تكون جذور الشلغم .

وكذلك يلاحظ حدوث موت موضعي مسود كما في ثمار العرموط او محمر وكذلك مسود كما في التفاح او اصفر مخضر كما في الخوخ والعنجاص .

(د) علاج نقص النحاس

تستخدم طريقة الرش بمحلول 0.05% من كبريتات النحاس او اضافة مقدار 0.25 الى 2.5 كغم نحاس لكل دوئم وعادة تستخدم كبريتات النحاس .

وبالنسبة لمحاصيل الخضر او المحاصيل الحقلية ينصح باضافة 5-6 كغم نحاس لكل دوئم (1972 Murphy and Walsh) .

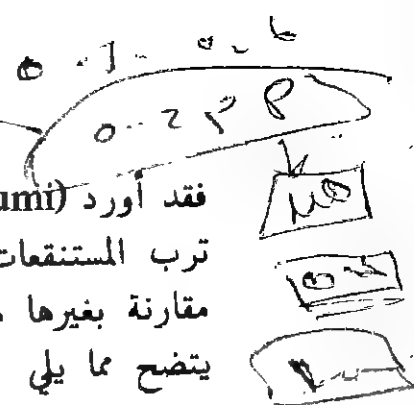
إن الرش بمحاليل ذات تركيز اعلى من 0.2 الى 0.5% نحاس وكذلك في الترب الحامضية وخاصة ذات المحتوى العالي من المادة العضوية او اضافة المخلفات الحاوية على النحاس لهذه الترب بصورة مستمرة ويسبب المعدل القليل الذي يغسل من النحاس الى طبقات التربة العميقة كما ذكر سابقاً فانه يظهر على النباتات السمية بعنصر النحاس والتي تشبه غالباً اعراض نقص الحديد حيث يظهر اصفرار على حواف الاوراق والتي قد تتحول الى مناطق ميتة منحورة مع اشتداد اعراض السمية .

6.2.7 — المولبدنم Molybdenum (Mo)

(أ) فكرة عامة

يبلغ المحتوى الكلي للمولبدنم في معظم الترب الزراعية من 0.6 الى 3.5 جزء بالمليون (1955, Swaine) وبمعدل 2 جزء بالمليون تقريباً . أما معدل المولبدنم الجاهز فيتراوح حوالي 0.2 جزء بالمليون (1973, Cheng and Quellte) . يختلف محتوى الترب من المولبدنم طبقاً لمادة الأصل التي نشأت منها تلك الترب .

pH



فقد أورد (1967, Massumi) طبقا لما قام به من مسوحات لترب شمال ألمانيا بأن ترب المستنقعات كان محتواها من المولبدنم الذائب (على شكل أوكزالات) عاليا مقارنة بغيرها من الترب وأن الترب البدزول البيضاء أو الرملية هي الأقل كما يتضح مما يلي :-

ترب المستنقعات 0.17—14 جزء بالمليون
ترب البوزول الرمادية 0.1—0.5 جزء بالمليون
ترب تحتوي على نباتات متحللة 0.1—0.5 جزء بالمليون
ترب البوزول البيضاء 0.09—0.36 جزء بالمليون

يمتص المولبدنم على صورة أيون المولبدات MoO_4^{2-} وهو بهذا يختلف عن عناصر Fe^{2+} و Mn^{2+} و Cu^{2+} و Zn^{2+} التي تمتص في صورة الكاتيون الثنائي التكافؤ ولكنه يشبه البورون الذي يمتص في إحدى صور البورات الأيونية (أكثرها قبولا هي صورة البورات BO_3^{3-} حيث أن معظم المراجع تشير إلى امتصاص البورون على هذه الصورة).

كما أن المولبدنم يشبه عنصري الفسفور والكبريت من حيث سلوكه في التربة حيث يمدص على سطوح غرويات التربة بطريقة مشابهة لكل من العنصرين (1970, Barrow). غير أن عملية الامدصاص هذه تختلف عما هو عليه الحال بالنسبة لعنصري الفسفور والبورون حيث أن امدصاص المولبدنم يزداد بانخفاض الرقم الهيدروجيني (pH) (أي بزيادة الحموضة أو بزيادة تركيز أيونات الهيدروجين) ويقل الامدصاص بارتفاع الرقم الهيدروجيني وخاصة في الترب القاعدية وقد يعزى ذلك إلى إمكانية إحلال أيونات الهيدروكسيل (OH) على سطوح التبادل محل أيون المولبدات. ولهذا ينصح غالبا لتحسين تغذية النباتات بالمولبدنم بتكليس التربة بمعنى اضافة الجير (اللايم Lime) (كربونات الكالسيوم) للتربة حيث يعمل ذلك على رفع تفاعل التربة وبالتالي زيادة أيون المولبدات في محلول التربة.

ويرى (1955, Walker et al.) أن أنيونات الفوسفات يمكن أن تقوم بنفس الدور وعليه لوحظ تحسن تغذية بالنبات بالمولبدنم عند اضافة الأسمدة الفوسفاتية.

إن محتوى النبات من المولبدنم عادة قليل جدا ولا يتجاوز عن 1 جزء بالمليون في مادته الجافة . غير أننا نجد في بعض النباتات حدوث تجمع له في داخل النبات وبتراكيز عالية تزيد عن المائة ضعف ودون أن يسبب سمية للنبات . فقد ذكر أن تجهيز نبات القطن بكميات كبيرة زائدة عن حاجته قد أدت إلى تجمع تراكيز عالية من المولبدنم وصلت إلى 1500 جزء بالمليون في أوراقه ودون أن يظهر عليها أية أعراض للسمية بالمولبدنم (Joham, 1953) . ولوحظت نتائج مشابهة على نبات الفاصوليا . غير أن (Johnson, 1966) لاحظ تكون لون أصفر ذهبي على أوراق الطماطة عندما وصل تركيز المولبدنم فيها من 1000—2000 جزء بالمليون وهذا يعني وقوع حالة السمية بالمولبدنم عند تجهيز النبات بتراكيز عالية جدا من العنصر . غير أن معظم المراجع تشير إلى وجود تراكيز محدود 0.1 إلى 300 جزء بالمليون من المولبدنم في مادة النبات الجافة والتي تختلف حسب نوع النبات وكذلك حسب العضو النباتي . وقد أوضحت هذه الدراسات أن محتوى الجذور من المولبدنم هو عادة أعلى من محتوى السيقان أو الأوراق ، فلقد وجد أن محتوى جذور البرسيم الأحمر هو 53 جزء بالمليون في حين كان محتوى الأوراق 29 والسيقان 28 جزء بالمليون مولبدنم . وتوصل (Berger, 1965) إلى نتائج مماثلة في نبات الجوت حيث كان محتوى الجذور والأوراق والسيقان هو 35 و 7 و 4.3 جزء بالمليون من المولبدنم على التوالي عندما نميت النباتات في بيئة تعاني من نقص المولبدنم . إن محتوى العقد الجذرية من المولبدنم هو عادة أعلى من جذور النبات البقو نفسه وهذا يرجع إلى دور المولبدنم في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة النباتات البقولية .

(ب) وظائف عنصر المولبدنم في النبات

(1) يعتبر عنصر المولبدنم مفتاح الأيض الحيوي لعنصر النتروجين حيث أن عمل اختزال النترات بداخل النبات إلى أمونيا بواسطة أنزيم *nitrogenase reductase* و *nitrogenase* تحتاج إلى المولبدنم لنشاطها حيث يدخل عنصر المولبدنم في تكوينها كما أن عملية تثبيت النتروجين الجوي تعاي بواسطة النباتات البقولية تحتاج إلى المولبدنم وبالطبع فإن عبارة مفتاح الأيض الحيوي تنطبق على النباتات البقولية وكذلك في حالة تغذ النباتات سواء كانت نباتات بقولية أو نجيلية في حالة إضافة الأسمدة النتروجينية على هيئة نترات وامتصاص النبات للنتروجين بهذه الصورة فلن يتم الاستفادة من النترات المضافة يجب أن تحتل النترات أولا في أمونيا كما ذكر والتي ترتبط بعد ذلك مع الأحماض العضوية الكيتونات لتكوين الأحماض الأمينية ومن ثم دخولها في تكوين البروتينات .

إن محتوى النبات من المولبدنم عادة قليل جدا ولا يتجاوز عن 1 جزء بالمليون في مادته الجافة . غير أننا نجد في بعض النباتات حدوث تجمع له في داخل النبات وبتراكيز عالية تزيد عن المائة ضعف ودون أن يسبب سمية للنبات . فقد ذكر أن تجهيز نبات القطن بكميات كبيرة زائدة عن حاجته قد أدت إلى تجمع تراكيز عالية من المولبدنم وصلت إلى 1500 جزء بالمليون في أوراقه ودون أن يظهر عليها أية أعراض للسمية بالمولبدنم (Joham, 1953) . ولوحظت نتائج مشابهة على نبات الفاصوليا . غير أن (Johnson, 1966) لاحظ تكون لون أصفر ذهبي على أوراق الطماطة عندما وصل تركيز المولبدنم فيها من 1000—2000 جزء بالمليون وهذا يعني وقوع حالة السمية بالمولبدنم عند تجهيز النبات بتراكيز عالية جدا من العنصر . غير أن معظم المراجع تشير إلى وجود تراكيز بحدود 0.1 إلى 300 جزء بالمليون من المولبدنم في مادة النبات الجافة والتي تختلف حسب نوع النبات وكذلك حسب العضو النباتي . وقد أوضحت هذه الدراسات أن محتوى الجذور من المولبدنم هو عادة أعلى من محتوى السيقان أو الأوراق ، فلقد وجد أن محتوى جذور البرسيم الأحمر هو 53 جزء بالمليون في حين كان محتوى الأوراق 29 والسيقان 28 جزء بالمليون مولبدنم . وتوصل (Berger, 1965) إلى نتائج مماثلة في نبات الجت حيث كان محتوى الجذور والأوراق والسيقان هو 35 و 7 و 4.3 جزء بالمليون من المولبدنم على التوالي عندما نمت النباتات في بيئة تعاني من نقص المولبدنم . أن محتوى العقد الجذرية من المولبدنم هو عادة أعلى من جذور النبات البقولي نفسه وهذا يرجع إلى دور المولبدنم في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة النباتات البقولية .

محتوى النبات
من المولبدنم
لا يتجاوز
عن 1 جزء
بالمليون

203

(ب) وظائف عنصر المولبدنم في النبات

(1) يعتبر عنصر المولبدنم مفتاح الأيض الحيوي لعنصر النتروجين حيث أن عمليا اختزال النترات بداخل النبات إلى أمونيا بواسطة أنزيمي nitrate reductase و nitrogenase تحتاج إلى المولبدنم لنشاطها حيث يدخل عنصر المولبدنم في تكوينها كما أن عملية تثبيت النتروجين الجوي تعيش بواسطة النباتات البقولية تحتاج إلى المولبدنم وبالطبع فإن عبارة مفتاح الأيض الحيوي تنطبق على النباتات البقولية وكذلك في حالة تغذية النباتات سواء كانت نباتات بقولية أو نجيلية في حالة إضافة الأسمد النتروجينية على هيئة نترات وامتصاص النبات للنتروجين . بهذه الصور فلنكي يتم الاستفادة من النترات المضافة يجب أن تحتزل النترات أولا ، أمونيا كما ذكر والتي ترتبط بعد ذلك مع الأحماض العضوية الكيتونية لتكوين الأحماض الأمينية ومن ثم دخولها في تكوين البروتينات .

إن نقص المولبدنم في النبات يؤدي الى تجمع النترات الأمر الذي يسبب سمية في هذه النباتات حيث يظهر عليها 'صففرار' ثم تنخر حواف الأوراق .
إن زيادة مستوى النترات في نبات السباح - تسبب سمية للإنسان والحيوان وخاصة للصغار .

(2) يعتبر ضرورياً لنشاط حامض النيكوتين والذي يلعب دوراً مهماً في تحولات الطاقة . كما أن المولبدنم ينشط انزيمي Peroxidase و Catalase .

(3) يعمل المولبدنم على زيادة محتوى النباتات وخاصة الخضروات من فيتامين C . حيث لوحظ في حالة نقصه تجمع للنترات والتي تعمل على هدم فيتامين C مما يقلل محتوى الأوراق منه في حالة نقص المولبدنم .

وما تجدر الإشارة اليه أن السمية بالمولبدنم في النباتات تجعل الحيوانات التي تتغذى على مثل هذه النباتات تعاني من النقص بعنصر النحاس وقد أطلق على ذلك مرض (Teart) والتي أشير إليها منذ أكثر من قرن في المراعي الإنجليزية . ويصيب هذا المرض حيوانات المزرعة وخاصة الأبقار ويتميز المرض بإسهال شديد وفقدان في الوزن وإلى اختزال في كمية الحليب كما يحدث ترنح وهزال عام للحيوان حيث أن نقص النحاس يعمل على عدم كفاءة عنصر الحديد في تكوين هيموكلوبين الدم .

(4) وهناك إشارات إلى أهمية المولبدنم في تحويل الفسفور المعدني إلى فسفور عضوي بداخل النبات وقد يعزى إلى التأثير المفيد للمولبدنم في رفع كفاءة النبات للاستفادة من الأسمدة الفوسفاتية المضافة للتربة .

(5) لقد دلت الأبحاث أن هناك علاقة إيجابية بين تواجد المولبدنم ومقدار السكر لنبات البنجر السكري .

(6) يعتقد أن له دوراً في زيادة إنتاج جزيئة الكلورفيل وبالتالي زيادة نشاط عملية التركيب الضوئي .

(ج) اعراض نقص المولبدنم

تكون اعراض نقصه مشابهة لاعراض نقص النتروجين حيث تكون النباتات متقزمة مع ضعف واضح للمجموعة الجذرية كما تتعرض الأوراق للذبول كما في حالة نقص عنصر البوتاسيوم . إن ظاهرة الذيل السوطي (Whip tail) على اللهانة والقرنابيط من الاعراض المعروفة لنقص المولبدنم عليها ، حيث تبدو الأوراق وكأن نصلها قد سقط مع بقاء العرق الوسطي فقط أو اجزاء صغيرة من نصل الورقة تحيط فقط بالعرق الوسطي .

وفي حالة القرنابيظ يلاحظ بالاضافة الى ذلك تلون الزهرة نفسها بلون بني الى ارجواني وتكون الزهرة مفتوحة غير مضغوطة .

وفي الحمضيات يظهر على الاوراق بقع صفراء غير منتظمة الشكل (Yellow Spot) حيث تكون البقعة عبارة عن هالة صفراء محاطة بمنطقة أفتح منها وعند السطح السفلي للورقة يلاحظ تكون مادة لزجة ، ويلاحظ تساقط شديد للاوراق ، والبقعة الصفراء قد تظهر على الثمار ولكن لايعتمد عليها في عملية التشخيص .

وفي كثير من المحاصيل الخضرية يحدث انحناء لحواف الاوراق للاعلى بشكل يشبه المعلقة كما في حالة الحمضيات والتبغ ، وفي السبانخ تكون الاوراق كأسية . وفي الشعير تتلون السنابل بلون اخضر مزرق (Blue chaff) .

(د) علاج نقص المولبدنم

- (1) قد يكتفى لعلاج او لتلافي نقص هذا العنصر اضافة حوالي 1-2 طن من الحجر الجيري لكل دونم حيث يعمل ذلك على رفع الرقم الهيدروجيني للتربة وعليه فإن جاهزية المولبدنم تزداد كما ذكر .
- (2) بالنسبة لمحاصيل الخضر يضاف اما 0.4 غم Mo لكل م² أو ترش النباتات بما يعادل 200 غم من المولبدنم لكل دونم مع مراعاة بالآ يزيد محلول الرش عن 0.1% من محلول موبدات الصوديوم او مبولدات الامونيوم . وبالنسبة للعراق يفضل بالطبع ملح موبدات الامونيوم لنفس الاسباب التي أشرنا اليها في حالة افضلية سماد كبريتات البوتاسيوم على سماد كلوريد البوتاسيوم حيث ان معظم الترب العراقية تعاني من مشكلة الملوحة وان كلاً من Na و Cl يعمل على زيادة الملوحة لذا نتحاشى اضافة الاسمدة المحتوية عليها .
- (3) بالنسبة للحمضيات تبين نجاح طريقة اذابة 5 غم من ملح موبدات الامونيوم (والتي تحتوي على 54% Mo) في 100 لتر من الماء ورش الاشجار بهذا المحلول وهذه الكمية تكفي لرش 2-3 اشجار مثمرة .
- (4) كما وجد ان تغيير البذور بمقدار 25-50 غم من ملح موبدات الامونيوم او موبدات الصوديوم قبل زراعتها قد أعطت النباتات المناعة المطلوبة لتلافي ظهور نقص المولبدنم على النباتات . علماً أن هذه الكمية المستخدمة تكون كافية لزراعة 2-6 دونم بهذه البذور المعاملة كما في حالة الجت او البرسيم او النجيليات .

7.2.7 Chlorine (Cl) الكلور

(أ) فكرة عامة

التأثير المفيد للكلور قد اشير اليه منذ اكثر من 120 عاما عندما اوضح العالم الالماني (Nobbe, 1865) بأن حنطة (*Fagopyrum esculentum*) لم تصل الى مرحلة النضج عندما لم يضاف الكلور الى المحلول المغذي المستعمل في ري هذه الحنطة وبالرغم من ذلك ظلت الاراء متضاربة حول اهمية الكلور للنباتات وكان يعتقد غالباً بأن الكاثيونات المرافقة للاملاح الحاوية على الكلور هي التي يكون لها التأثير المفيد وليس للكلور نفسه .

الا ان اهمية الكلور كعنصر غذائي للنباتات قد أقرت وبشكل نهائي نتيجة للدراسات الكثيرة والقيمة من قبل (Ulrich and Ohki) (1954, Broyer et al) (1956, Johnson et al.) و (1957, Broyer) (1966).

وقد واجه الباحثون صعوبات كثيرة واهمها استخدام هواء مرشح خالي تماماً من الكلور حيث ان النباتات تكون عرضة للتلوث بالكلور سواء من الوسط الغذائي او التهوية او حتى من البذور نفسها وبالرغم من ان تركيز الكلور في النباتات عالياً مقارنة بالعناصر الغذائية الصغرى وحتى مقارنة ببعض العناصر الغذائية الكبرى حيث يعبر عن محتوى الكلور في مادة النبات الجافة كنسبة مئوية كما في حالة العناصر الغذائية الكبرى الا انه لا يفهم لماذا يصنف الكلور ويوضع ضمن العناصر الغذائية الصغرى وهذا بلا شك يتعارض مع مفهومنا للعناصر الغذائية الكبرى والصغرى .

وعموماً نادراً ما تعاني النباتات من نقص الكلور الا انه ليس غريباً او مستبعداً ان تظهر اعراض نقصه على النباتات المتواجدة في الترب الرملية والبعيدة عن البحر . كما يجب ان يلاحظ في المناطق القريبة من شواطئ البحار والمحيطات حدوث سمية الكلور المحمول كرزاذ على هيئة كلوريد الصوديوم مع الهواء الجوي ورش النباتات القريبة به وتلوثها وبصورة مستمرة حيث يلاحظ قلة جودة التبوغ .

وبصورة عامة تسبب السمية بالكلور حروق على حواف الاوراق ثم يتبع تبقع بني مع انحناء حواف وتساقط الاوراق في وقت مبكر . وقد يحدث موت تراجمي في البداية واخيراً قد يموت النبات بالكامل . اما السمية على اشجار الفاكهة النفضية والحمضيات فانها تظهر عندما يزيد محتوى اوراقها من الكلور عن 1-2% في مادتها الجافة ويسبب ذلك حروق على حواف اوراقها مع تساقط هذه الاوراق . وفي الحالات الشديدة يلاحظ موت افرع بكاملها .

وبشكل عام فإن استخدام مياه ري تحتوي على أكثر من 500 ملغم Cl^- / لتر تعتبر ضارة . كما ان محتوى الهواء الجوي من الكلور اذا زاد عن 3 ملغم Cl_2 / م³ قد يكون ضاراً بالنسبة للنجليات .

(ب) تقسيم النباتات حسب حساسيتها للكلور : يمكن تقسيم النباتات حسب حساسيتها للكلور كالآتي :

1 - نباتات غير حساسة حيث تتحمل تراكيز عالية منه ، وتشمل الشعير والشوفان والذرة الصفراء والحنطة والكتان وأنواع البنجر وأنواع اللفت والقرنابيط والفجل والسبانخ والثوم .

2 - نباتات متوسطة الحساسية

وتشمل اشجار الفاكهة والعنب والحمضيات .

3 - نباتات حساسة

وتشمل الشليك (الفراولة) والبطاطا والقطن والطماطة والبقوليات والتبغ والبصل .

وبصورة عامة اذا احتوت التربة على تركيز اقل من 2 جزء بالمليون من الكلور فتعتبر فقيرة بهذا العنصر .

هذا وان المحتوى من 500-1000 جزء بالمليون من الكلور يعتبر منخفضاً لكثير من النباتات . غير انه ليس مستغرباً ان نجد نباتات قد تحتوي على أكثر من 10% Cl^-

ان نقص الكلور يسبب ذبول عام للنبات ويبدأ الذبول أولاً على قمة الاوراق كما يحدث تحلل للكلورفيل ثم يعقبه تكون لون برونزي واخيراً تموت الاوراق وفي حالات نقص الكلور الشديدة فقد لا تستطيع النباتات من تكوين البذور او الثمار .

ويمتص الكلور من قبل النباتات على هيئة الانيون الأحادي التكافؤ (Cl^-) وعادة يمتص بكميات تفوق كثيراً حاجة النباتات منه لتأدية وظائفها الفسلجية ويستمر تراكمه في النبات حتى مرحلة النضج حيث يستمر امتصاصه وزيادة تركيزه بشكل مستمر . ان تحرك الكلور واعادة توزيعه بداخل النبات جيد بالرغم من ظهور اعراضه أولاً على الاوراق الحديثة . هذا وتستطيع النباتات الحصول على الكلور ليس فقط من التربة ولكن عن طريق الهواء الجوي وتتفاوت النباتات كثيراً في ذلك فبينما نجد أن الذرة الصفراء والباقلاء والفاصوليا تأخذ الكلور من الهواء الجوي بدرجة جيدة نلاحظ ان نباتات الخضر تضعف قدرتها في ذلك كثيراً .

ان أوراق البنجر السكري التي احتوت على اقل من 100 الى 200 جزء بالمليون كلور في مادتها الجافة تعاني من نقص الكلور . كما أشار (1957, Stout) الى ان نباتات الطماطة المصابة بنقص شديد بالكلور تحتوي على 250 جزء بالمليون Cl في المادة الجافة لأوراقها . هذا وقد أشار (1973, Walsh and Beaton) إن عددا كبيرا من النباتات التي كان محتواها من الكلور بين 35-70 جزء بالمليون في مادتها الجافة كانت تعاني من نقص الكلور .

(ج) وظائف عنصر الكلور في النبات

تشير معظم الدراسات الى ان الكلور لا يعمل كعنصر بنائي في اعضاء النبات ولكن تأثيره الفسلجي يرجع لانيون الكلور نفسه . هذا ويقترح ان للكلور الوظائف الآتية :

- (1) يعمل كما في حالة النترات أو ايونات القلويات والقلويات الارضية على زيادة انتفاخ غشاء البلازما . وكما أشار (Schmalfluss) في الثلاثينات بأن الكلور يمكنه ان يعوض ايون النترات في وظائفه الكيموغروية وهذه الكيفية فأن الكلور يؤثر في تغذية النباتات بالنتروجين تأثيرا ايجابيا وخاصة بالنسبة لنباتي البنجر السكري والسبانخ .
- (2) يلعب الكلور مع عنصر المنغنيز دورا مهما حيث يعملان معا على تحليل جزيئة الماء وخلق الالكترونات اللازمة في النظام الضوئي الكيمياوي لعملية التركيب الضوئي حيث تتحول الطاقة الضوئية في الـ (Hill reaction) الى طاقة كيمياوية .
- (3) يشترك في عملية تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات ولذلك فان نقصه يسبب ذبول قمم أوراق النبات .
- (4) يظهر أن للكلور دورا في تنشيط انزيم Cytochrome Oxidase
- (5) وجدت زيادة تقدر بحوالي (10) أضعاف لنواتج عملية التركيب الضوئي في حالة التغذية الجيدة بالكلور (1977, Terry) .
- (6) تبين فائدته في رفع قدرة النبات في زيادة عملية انقسام خلايا الخشب وكذلك خلايا النسيج العمادي ويرتأى (1977, Terry) ان هذا التأثير يعتبر أهم وظيفة على الاطلاق لعنصر الكلور في النباتات ، ومن هنا يتبين أهميته لقمم السيقان والجذور .

غير ان المستويات العالية من الكلور تمنع انتقال نواتج التمثيل وخاصة الى اعضاء التخزين . فقد لوحظ قلة المحتوى من السكريات في أوراق الطماطة والكرفس والعنب ، كما ان محتواها من فيتامين C كان منخفضا . وتم الحصول على

نتائج مشابهة حيث لوحظ انخفاض نسبة السكر في نبات البنجر السكري ونسبة النشا في البطاطا عند زيادة محتواهما من الكلور .

لهذا السبب يفضل دائماً بالنسبة لمثل هذه المحاصيل عدم التسميد بالاسمدة الحاسوبية على الكلور حيث يفضل مثلاً للبطاطا والبنجر السكري سماد كبريتات الامونيوم أو كبريتات البوتاسيوم على كلوريد الامونيوم أو كلوريد البوتاسيوم حيث يقلل الكلور من انتقال السكريات أو الكربوهيدرات من اماكن تكوينها الى اماكن تخزينها .

ومما تجدر الاشارة اليه ان النباتات المغذاة بصورة جيدة بالكلور تكون حساسة للاصابة بالامراض الفايروسية .

3.7 - العناصر النافعة أو المفيدة (Beneficial elements)

وتشمل عناصر (Na, Co, Si, and V)

تعريف :
العنصر المفيد هو ذلك العنصر الذي لا يقع ضمن مجموعة العناصر الغذائية الكبرى أو الصغرى اي أنه لا يكون ضرورياً أو مهماً للنباتات ولكن يكون له تأثير نافع أو مفيد لبعض انواع النباتات أو لنبات معين ولا يوجد له تأثير ايجابي على النباتات الاخرى ، فعلى سبيل المثال فإن الصوديوم مفيد لنبات البنجر السكري حيث يعمل على زيادة نسبة السكر فيه في حين أنه لا يعمل على زيادة الكربوهيدرات لنبات البطاطا فيقال أن الصوديوم مفيد لنبات البنجر السكري .

وبالمثل فإن عنصر الكوبلت مفيد للنباتات البقولية حيث أن الكوبلت يدخل في تكوين فيتامين B₁₂ المهم في تكوين العقد البكتيرية على جذور النباتات البقولية وبالتالي ترتفع قدرتها على تثبيت النتروجين الجوي فيقال أن للكوبلت تأثير نافع على البقوليات في حين أن النجيليات التي ليس لها القدرة على تثبيت النتروجين الجوي لا يكون للكوبلت أي تأثير ايجابي بالنسبة لها . كما أن الدراسات قد بينت أن للسليكون تأثير مفيد لنبات الرز حيث أدى وجود السليكون في بيئة الرز الى زيادة الحاصل كماً ونوعاً حيث لوحظ زيادة واضحة في عدد السنابل بالعنقود ونسبة الحبوب الناضجة في حالة وجود السليكون مقارنة بعدم وجوده . وتعزي

الدراسات الحديثة ذلك الى زيادة قدرة النباتات لتحمل تراكيز عالية في المنغنيز الجاهز للامتصاص (Mn^{2+}) والذي يكون عالياً في بيئة الرز الغدقة اللاهوائية (Bergmann, 1983) وأجريت تجارب مماثلة على نباتات الشعير والطماطا والفجل والبصل الاخضر واللهاة من قبل (Okuda and Takashi, 1965) ولم يتبين اي تأثير مفيد للسليكون عليها . ولهذا فالسليكون عنصر مفيد لنبات الرز فقط . وسنتناول هذه العناصر وخاصة عناصر (Si, Co, Na) بشيء من التفصيل .

(أ) الصوديوم Sodium (Na)

الصوديوم سريع الذوبان في الماء ولذلك يكثر في مياه البحار والانهار والمحيطات . وهو يوجد بشكل متحد مكوناً املاح عديدة مثل كلوريد الصوديوم والبوراكس (Borax) والالبت (Albite) . ومن المركبات الاخرى المهمة له هي هيدروكسيد الصوديوم وكربونات الصوديوم وبيكربونات الصوديوم .

إن وجود الصوديوم في التربة بكميات كبيرة يعمل على تخريب بناء التربة حيث يعمل على تفريق حبيبات التربة كما أن التربة تكون لزجة ويصبح من الصعب العمل فيها .

وفي حالة وجود نقص بالصوديوم فإن اضافة 70-140 كغم من ملح نترات الصوديوم يكون كافياً لسد حاجة معظم النباتات ، وبصورة عامة فإن محتوى الاوراق يكون عالياً مقارنة بمحتوى البذور . كما أن البقوليات تعتبر اغنى بالصوديوم من النجيليات . هذا ولا ينصح باستخدام مياه الري الحاوية على اكثر من 70 ملغم Na / لتر .

وبالرغم من تأكد معظم الباحثين بأهمية الصوديوم لعدد كبير من النباتات (بمعنى اعتباره عنصراً ضرورياً وليس على أساس انه مفيد للنبات) فقد وضع ضمن العناصر المفيدة طبقاً للتقسيم الذي أورده (Bergmann, 1983) . إن للصوديوم وظائف عديدة يمكن تلخيصها فيما يلي :

- (1) يمكن له أن يعوض البوتاسيوم في بعض وظائفه وخاصة فيما يتعلق بدوره في تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات .
- (2) يحمي النباتات من اضرار الصقيع خلال فترات الشتاء الباردة حيث يعمل على خفض درجة انجماد عصارة النبات .

(3) يساعد بعض النباتات على تكوين اللون الجيد والطعم المرغوب فيه .

(4) في ايام الجفاف يساعد الصوديوم النباتات في الحصول على احتياجاتها المائية حيث يقوم بجذب الماء من الهواء الجوي وكذلك يجذب الماء من اعماق التربة . كما أنه يعمل على حفظ التوازن المائي في محلول التربة وليس فقط في داخل النبات . أما زيادته كما في حالة الترب القلوية والتي تحتوي على اكثر من 15% Na من سعة التبادل الكاتيوني فتؤدي الى نتائج عكسية .

(5) يعمل الصوديوم على زيادة جاهزية الفوسفات في الترب القاحلة حيث يزيد من تفتيت مركبات الفوسفات المعقدة غير القابلة للذوبان مثل صور الاباتيت وجعلها بصورة ذائبة جاهزة للامتصاص بواسطة جذور النباتات . غير أن زيادته قد تؤدي الى احداث نقص عناصر الـ Mg, Ca, K في النبات . كما يؤدي الى ذبول النبات وبالرغم من أن الصوديوم يصنف من قبل معظم الباحثين ضمن مجموعة العناصر الغذائية الصغرى لأن معظم النباتات تحتاجه بتركيز يقارب من 2.3 جزء بالمليون إلا أن النباتات الملحية أو المحبة للملوحه مثل *Atriplex Vesicaria* تحتاج الصوديوم بكثرة ولهذا يعتبر بالنسبة لها من ضمن مجموعة العناصر الغذائية الكبرى .

(ب) الكوبلت (Co) Cobalt

يوجد الكوبلت في معظم الصخور النارية وبتركيز يتراوح من ١ - عدة مئات جزء بالمليون ، اما في الترب فتبلغ مستوياته من ١ الى 40 جزء بالمليون بيد أن محتوى مادة النبات الجافة من الكوبلت يتراوح من 0.02 الى 0.5 جزء بالمليون .

يكون الكوبلت المتبادل مرتبطاً بقوة مع المعادن كما في حالة عنصر النحاس ولذلك فإن تركيزه في محلول التربة يكون واطئاً .

وكذلك فإن تركيز الكوبلت في الترب ذات الصرف الرديء أو الترب الغدقة يكون اعلى من الترب ذات الصرف الجيد . كما وجد أن وجود المنغنيز يقلل من تركيز الكوبلت الجاهز .

يميل الكوبلت لتكوين مركبات مغلبية ولهذا فانه قد يقلل من سمية العناصر الثقيلة الأخرى . التأثير السمي للكوبلت يشبه أعراض نقص المغنيسيوم ويشبه السمية بكل من الكلور والبورون حيث يظهر اصفرار على قمم وحواف الاوراق ومن ثم موت الأنسجة وبعد ذلك تتعرض الاوراق للذبول .

إن بعض النباتات تكون غير حساسة لزيادة الكوبلت مثل نبات (Nyssa Swamp black gum (sylvatica الذي ينمو في الجنوب الشرقي من الولايات المتحدة والذي يصل محتواه من الكوبلت الى ما يقرب من 1000 جزء بالمليون . وهذا النبات قد يستخدم كدليل نباتي فعند تحليل اوراق النبات ووجود تركيز اقل من 5 جزء بالمليون في مادتها الجافة فيدل ذلك على وجود نقص الكوبلت في هذه التربة .

كما اشرنا الى ذلك سابقا فان الكوبلت ضروري للنباتات البقولية حيث يدخل في تكوين فيتامين B₁₂ المهم في تكوين العقد البكتيرية في جذور النباتات البقولية وبالتالي فهو ضروري لعملية تثبيت النتروجين الجوي حيويا .

يحصل نقص الكوبلت في التربة الرملية المعرضة لعملية الغسل وكذلك في التربة الحامضية النارية وايضا في التربة ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم أو ذات المحتوى العالي من المواد العضوية . كما أن تفاعل التربة يؤثر على جاهزية الكوبلت حيث يزداد نقصه كلما اتجهنا نحو القاعدية .

عند استخدام حامض الخليك في عملية أستخلاص الكوبلت الجاهز والحصول على تركيز أقل من 0.1 جزء بالمليون فيدل على وجود نقص الكوبلت في مثل هذه التربة وعادة يعالج نقص الكوبلت بأضافة احد املاحه بمعدل 0.25 الى 0.5 كغم / دونم . وفي حالة وجود معادن المنغنيز بكميات عالية فيجب اضافة كميات أعلى من الكميات السابقة وذلك لأن معادن المنغنيز تعمل على تقليل ذوبانية الكوبلت .

(ج) السليكون Silicon (Si)

يأتي السليكون في المرتبة الثانية بعد الاوكسجين من حيث تواجده في القشرة الأرضية وتقدر نسبته بحوالي 27% بالوزن منها . يكون السليكون مع الماء واكاسيد الحديد والالومنيوم غرين التربة أو كتلة التربة الرئيسية . لذلك فهو يوجد في كل المعادن تقريبا . وتتوقف جاهزيته على تجوية هذه المعادن حيث يتحرر منها الى محلول التربة .

بصورة عامة يمكن القول أن التربة تحتوي على تراكيز عالية من السليكون الجاهز في محلول التربة وان زيادة محتوى التربة من الجيزر أو اضافته لها يقلل من السليكون الجاهز وبالتالي يقلل من امتصاصه من قبل النبات .

وبالرغم من المستويات العالية للسليكون في الترب فلا يوجد اي دليل على اعتباره عنصرا ضروريا لجميع النباتات وهو مفيد بالدرجة الاساس لنبات الرز كما ذكر سابقا. ان محتوى النباتات من السليكون يختلف كثيرا باختلاف انواع النباتات. فمحاصيل الحبوب والاعشاب تحتوي من 2 الى 20 ملغم Si / غم من وزن النبات الجاف بينما نباتات ذوات الفلقتين لا تحتوي الا على عشر هذه الكمية في حين نجد أن نبات الرز قد يصل محتواه الى 100 ملغم Si / غم من مادته الجافة. كما ان الاجزاء القديمة من النبات تحتوي على تراكيز أعلى من السليكون من الاجزاء الحديثة.

ويمتص السليكون عند 9 pH على هيئة Si (OH)_4 (monosilicic acid) (1965, Jones and Handreck). وما تجدر الاشارة اليه ان توزيع السليكون في النبات يختلف كثيرا باختلاف الانواع النباتية. فقد اظهرت نباتات الطماطة والفجل واللفت والبنجر والتي تحتوي على تراكيز واطئة من السليكون توزيعا يكاد يكون متقاربا في كل من الاجزاء العليا والجذور، وبينما يميل البرسيم لتجميع السليكون في جذوره حيث نجد أن حوالي 90% من السليكون في نبات الرز يتواجد في الاجزاء الهوائية العليا من النبات (1965, Okuda and Takahashi).

تعتبر السليكا الهلامية (Silica gel) والموجودة على هيئة $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ هي الشكل السائد في النباتات وعندما تتصلب تصبح غير قابلة للحركة في النبات. وقد لوحظ في نبات الشوفان أن البشرة الخارجية للخلايا متشخنة بالسليكا وأن السليكا أحد مركبات جدران الخلايا. هذا ووجد (1962, Yoshida et al.) أن أوراق نبات الرز عند فحصها بالمجهر الالكتروني تحوي على طبقة من السليكا متحدة مع السليلوز في خلايا بشرة الاوراق وهذه الطبقة تكون متداخلة مع طبقة اخرى من السليكا الموجودة تحت طبقة الكيوتيكل وأشار هؤلاء الباحثون الى أهمية هذه الطبقة الثنائية في تقليل الفقد المائي من جهة والى جعل خلايا البشرة مقاومة لدخول الفطريات من ناحية اخرى. كما تبين ان النباتات من ذوات الفلقتين تفتقر الى مثل هذا التجمع من السليكا في بشرة أوراقها.

وفي حالة نقص السليكون في نبات الصفصاف لوحظ ذبول الأوراق ومع اشتداد النقص حصل ذبول للنبات جميعه وقد يرجع الى زيادة معدل عملية النتح. كما لوحظ موت الأنسجة والتي ترجع الى حدوث سمية بكل من الحديد والمنغنيز والتي عللت بأنها مرتبطة بنقص السليكون.

لقد أوضحت الدراسات بأن السليكون يميل لتكوين استرات مع هيدروكسيد المركبات العضوية كما في حالة الفسفور والبورون أي أن هناك احتمال اشتراك السليكون في عملية نقل الكربوهيدرات من أماكن تجميعها في الأوراق الى حيث يحتاج اليها النبات .

وطبقا لما جاء به (Ganssmann, 1962) بإمكانية وجود تنافس بين أيونات السليكات والفوسفات حيث لاحظ انخفاض معدل امتصاص الفسفور عند اضافة الأملاح الحاوية على السليكون الى المحلول المغذي . وعلى العكس من ذلك فلقد لوحظ أن اضافة السليكات الى التربة قد أدت الى زيادة جاهزية الفسفور حيث يعتقد بأن السليكات قد حلت مكان الفوسفات المتبادلة مما أدى الى تحرر الفوسفات من سطوح الامتصاص مما أدى الى زيادة جاهزية الفسفور وبالتالي زيادة امتصاصه من قبل النباتات .

كما أشار (Ayres, 1966) الى ان اضافة الأسمدة الحاوية على السليكون قد أدت الى زيادة محتوى السكر والحاصل لنبات قصب السكر .

وعند نقص السليكون فبالاضافة الى حدوث ذبول الأوراق والنباتات نتيجة لزيادة عملية النتح فانه وجد انخفاض ملحوظ في الخلايا المرستيمية مع قلة التفرعات بالنسبة للنجليات مع زيادة تعرضها لخطر الرقاد وزيادة شدة اصابتها بالفطريات . كما أن الأوراق الحديثة في نبات الطماطة تكون هشة سهلة الكسر مع اصفرار وتنخر الأوراق العلوية مع انخفاض شديد في الأزهار مع عقم حبوب اللقاح . والنمو يكون ضعيفا مع ضعف المجموعة الجذرية وذبول النبات . كما أن نقص السليكون في الخيار أدى الى قلة عدد الأزهار والثمار .

وبالرغم من تصنيف السليكون باعتباره عنصرا ضروريا بالنسبة لنبات الرز فانه قد تبينت فائدته لنباتات الذرة الصفراء واللوبياء والتبغ والخيار .

وبصفة عامة فان النباتات التي تظهر محتوى من 300 الى 800 جزء بالمليون من السليكون في أوراقها الجافة تكون عادة معرضة للاصابة بنقص السليكون .

(د) الفناديوم Vanadium (V)

يوجد الفناديوم في القشرة الأرضية بما يقرب من 0.03% بالوزن بينما يبلغ تركيزه في الترب محدود 20-500 جزء بالمليون كفناديوم كلي وفي المتوسط محدود 100 جزء بالمليون .

ولحصول النمو الملائم في النباتات يكفي عادة تركيز محدود 0.002 جزء بالمليون من الفناديوم في مادة النباتات الجافة . ولوحظ حدوث سمية به في كل من البزاليا والباقلاء عندما وصل تركيزه فيها الى 2 جزء بالمليون . كما أشارت الدراسات الى ان التراكيز من 10-20 جزء بالمليون في التربة ومن 0.5-2.5 جزء بالمليون V في المحاليل المغذية تعتبر سامة بالنسبة للنباتات .

إن اضافة الحديد يقلل من السمية بالفناديوم ولوحظ أن السمية به تشبه نقص الحديد .

إن بعض النباتات المتأقلمة للفناديوم قد تحتوي على تركيز يفوق 10 جزء بالمليون V ، غير أن التركيز الاعتيادي لمعظم النباتات هو محدود ١ جزء بالمليون V في مادة النبات الجافة .

هذا وقد أشار (Hopkins, 1954) الى أن الفناديوم ينتشر انتشارا واسعا في الطبيعة بدرجة تفوق بعض العناصر المعروفة مثل النحاس والزنك أو الرصاص .

وهناك دلائل على امكانية تعويض الحديد بالفناديوم خاصة اذا ما كان نقص الحديد متسببا عن الزيادة في عنصر المنغنيز .

الى جانب كل من Mo و Co تبين أهميته في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البكتيريا الحرة المعيشة بواسطة الـ *Clostridium* والـ *Azotobacter* كما اوضح (Bertrand, 1942) فائدته بالنسبة للفطر *Aspergillus niger* في حين ذكر (Arnon and Wessel, 1953) بأن الفناديوم ضروري للاشنيات الخضراء *Scenedesmus obliquus* . وبالنسبة للنباتات الراقية لا توجد أدلة كافية لأهميته . ومن الناحية العملية فإن نقصه أو السمية به لا يوجد لها أية أهمية تذكر .

4.7 - العناصر النادرة الاخرى ذات التأثير السام

ان وجود العناصر النادرة والتي يطلق عليها ايضا بالعناصر الاثرية بتراكيز منخفضة جدا لا تتجاوز عادة الجزء من المليون قد يكون لها بعض الاثار الايجابية المفيدة على بعض الانواع من النباتات غير أن الميزة السائدة لهذه العناصر هي تأثيرها السام حتى ولو كانت تراكيزها في التربة أو النبات قليلة جدا . وان هذه التأثيرات السامة لا تكون ضارة للنباتات فقط ولكن تنعكس آثارها السلبية على

ولحصول النمو الملائم في النباتات يكفي عادة تركيز محدود 0.002 جزء بالمليون من الفناديوم في مادة النباتات الجافة . ولوحظ حدوث سمية به في كل من البزاليا والباقلاء عندما وصل تركيزه فيها الى 2 جزء بالمليون . كما أشارت الدراسات الى ان التراكيز من 10-20 جزء بالمليون في التربة ومن 0.5-2.5 جزء بالمليون V في المحاليل المغذية تعتبر سامة بالنسبة للنباتات .

إن اضافة الحديد يقلل من السمية بالفناديوم ولوحظ أن السمية به تشبه نقص الحديد .

إن بعض النباتات المتأقلمة للفناديوم قد تحتوي على تركيز يفوق 10 جزء بالمليون V ، غير أن التركيز الاعتيادي لمعظم النباتات هو محدود 1 جزء بالمليون V في مادة النبات الجافة .

هذا وقد أشار (Hopkins, 1954) الى أن الفناديوم ينتشر انتشارا واسعا في الطبيعة بدرجة تفوق بعض العناصر المعروفة مثل النحاس والزنك أو الرصاص .

وهناك دلائل على امكانية تعويض الحديد بالفناديوم خاصة اذا ما كان نقص الحديد متسببا عن الزيادة في عنصر المنغنيز .

الى جانب كل من Mo و Co تبين أهميته في عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة البكتيريا الحرة المعيشة بواسطة الـ *Clostridium* والـ *Azotobacter* كما اوضح (Bertrand, 1942) فائدته بالنسبة للفطر *Aspergillus niger* في حين ذكر (Arnon and Wessel, 1953) بان الفناديوم ضروري للاشنيات الخضراء *Scenedesmus obliquus* . وبالنسبة للنباتات الراقية لا توجد أدلة كافية لأهميته . ومن الناحية العملية فإن نقصه أو السمية به لا يوجد لها أية أهمية تذكر .

4.7 - العناصر النادرة الاخرى ذات التأثير السام

ان وجود العناصر النادرة والتي يطلق عليها ايضا بالعناصر الاثرية بتراكيز منخفضة جدا لا تتجاوز عادة الجزء من المليون قد يكون لها بعض الاثار الايجابية المفيدة على بعض الانواع من النباتات غير أن الميزة السائدة لهذه العناصر هي تأثيرها السام حتى ولو كانت تراكيزها في التربة أو النبات قليلة جدا . وان هذه التأثيرات السامة لا تكون ضارة للنباتات فقط ولكن تنعكس آثارها السلبية على

الحيوانات وكذلك على الانسان الذي يتغذى على مثل هذه النبات أو هذه الحيوانات .

وستتناول فيما يلي أهم هذه العناصر باختصار وللمزيد من المعلومات ننصح القارئ الكريم الى الرجوع الى الكتب المشار اليها في نهاية الكتاب .

الألومنيوم Aluminum (Al)

يأتي الألومنيوم في المرتبة الثالثة بعد عنصري الأوكسجين والسليكون من حيث تواجده في القشرة الأرضية فهو يشكل حوالي 15% بالوزن والذي يوجد في صورة Al_2O_3 . وهو يكون مع السليكون الجزء الرئيسي لصفائح المعادن الأولية والثانوية .

تحتوي مادة النبات الجافة حوالي 50-400 جزء بالمليون Al غير اننا قد نجد حيوداً وتذبذباً عن هذه الأرقام قد تصل الى مئات المرات فعلى سبيل المثال قد يحتوي نبات الشاي من 2000-5000 جزء بالمليون من الألومنيوم في أوراقه الجافة مما جعل العالم (Chenery, 1955) يعتقد بأن الألومنيوم ضروري لنبات الشاي .

ولقد لوحظ عند اضافة محاليل مغذية حاوية على تركيز جزء واحد بالمليون Al زيادة حاصل نباتي عباد الشمس والذرة الصفراء بمقدار يقارب من 20% من وزنها الجاف .

ان ظهور السمية بالألومنيوم قد تتخذ كدليل لانخفاض الـ pH عن 5 او 5.5 وتكون اعراض السمية به شبيهة بنقص عنصر الفسفور . وعادة يصاحب السمية بالألومنيوم وجود تراكيز عالية من Mn و Fe وتراكيز منخفضة من Mg و Ca ويذكر ان الألومنيوم الذائب في حدود 10-20 جزء بالمليون يعتبر ساما للنباتات . ويمكن تقليل السمية بالألومنيوم باضافة الجير حيث لوحظ عدم ظهور السمية به عندما ارتفع الـ pH عن 5.8 .

وتؤدي السمية بالألومنيوم الى اضعاف نمو النبات ويظهر عليه لون اخضر داكن مع ظهور لون ارجواني على السيقان والسمية به يكون لها تأثيرات سيئة بالدرجة الاساس على الجذور قبل ان تظهر على الاجزاء الهوائية من النبات حيث يؤثر على الجزء الفعال في عملية الامتصاص ومنها تمزق القمة النامية للجذور وتكون

سوداء اللون مع اعاقة الجذور من التعمق في التربة مع ملاحظة قلة عدد التفرعات الجانبية وباستثناء قمة الجذر السوداء فيكون لون الجذر بنيا . ووضحت الدراسات ان السمية بالالومنيوم تؤثر سلبيا على تكوين الـ ATP وكذلك على تكوين الحامض النووي DNA وعملية الانقسام (Mitosis) وبالتالي فهو يؤثر على نشاط انقسام الخلايا . كما ان ارتباط الالومنيوم مع البكتين أدى الى ضعف مرونة ومطاطية جدران الخلايا .

كما تبين ان زيادة A1 ادت الى انخفاض محتوى الاجزاء الهوائية من الفسفور حيث يعتقد حصول ترسيب للفسفور على شكل فوسفات الالومنيوم سواء في التربة او في داخل انسجة النبات نفسها في حين أن السمية بالـ Mn لم يكن لها أي تأثير على محتوى الأجزاء الهوائية من الفسفور .

كما أشارت الدراسات الى انخفاض السمية بالالومنيوم كثيرا عند اضافة الاسمدة الفوسفاتية بسبب ترسيبها للالومنيوم . هذا ويرتأى العديد من الباحثين بأن السمية بالالومنيوم والنقص بالفسفور صنوان لايفترقان ولهذا السبب فعند حدوث نقص الفسفور يجب التأكد من وجود سمية بالالومنيوم أم لا والعكس صحيح تماما فعند حدوث سمية بالالومنيوم يجب فحص محتوى النبات من الفسفور للتأكد من نقص بالفسفور أو عدمه .

وان اختلاف النباتات في قدرتها لتحمل تراكيز مختلفة من A1 يرجع الى طبيعة هذه النباتات في قدرتها أو عدم قدرتها على تغيير الرقم الهيدروجيني حول المنطقة المحيطة بمجموعتها الجذرية وعلى هذا الاساس فتعتبر النباتات البقولية أكثر حساسية من النجيليات لقدرتها على إفراز أيونات الهيدروجين أكثر من النجيليات حول جذورها وبالتالي فهي تعمل على خفض الـ pH وتزيد من جاهزية الـ A1 والذي يمتص بدرجة أكثر بواسطة البقوليات والذي يسبب لها السمية بطبيعة الحال بدرجة أشد عما هو عليه الحال بالنسبة للنجيليات مثل الشعير او الحنطة .

كما إن اضافة الاسمدة النتروجينية أو البوتاسية الحاوية على صورة الامونيوم تكون خطورتها أشد في احداث السمية نظرا لتأثيرها الفسيولوجي الحامضي من الاسمدة الحاوية على النترات ذات التأثير الفسيولوجي القاعدي .

السلينيوم Selenium (Se)

يوجد في محلول التربة بتركيز منخفض عادة اقل من 0.2 جزء بالمليون أما في الترب فيتراوح تركيزه من 5-80 بالمليون كسلينيوم كلي .

تزداد جاهزيته بارتفاع الـ pH كما في حالة عنصر المولبدنم ولذلك تظهر السمية به عادة في المناطق الجافة وشبه الجافة خصوصا في الترب القلوية أو القاعدية ذات المحتوى العالي من كربونات الكالسيوم ذات التهوية الجيدة . وهو يمتص على صورة أيون السليينات SeO_4^{2-} وبالتالي فهو يشبه أيون الكبريتات .

إن التراكيز المنخفضة منه يكون لها تأثير تحفيزي في النبات . غير انه سام للنبات وقد يصل تركيزه في مادته الجافة الى أكثر من 1500 جزء بالمليون . ويعود التأثير السام للسلينيوم الى منافسته للكبريت (Shrift, 1969) .

إن اشتراك السلينيوم في تكوين البروتين يسبب خللا للنبات . ولذلك فإن النباتات التي تستطيع ان تجمع السلينيوم وتحمل تراكيز عالية منه تعمل على عدم دخول السلينيوم في تكوين بروتينها .

لقد وجد أن نباتات العائلة الصليبية مثل اللهانة والقرنبيط قد امتصت ثمانية اضعاف ما امتصته النجيليات مثل الحنطة والشعير من السلينيوم . كما أن البصل قام بتجميع كميات كبيرة منه . كما بينت الدراسات على أن بعض نباتات العائلة البقولية مثل milk vetches تستطيع أن تجمع تراكيز عالية من السلينيوم دون أن يكون له أي تأثير سلبي عليها وقد يصل تركيز السلينيوم فيها الى عدة آلاف الجزء من المليون (Ganje, 1966) . كما ان نقص السلينيوم في الحيوانات يسبب مرض يدعى White muscle disease حيث يسبب خللا في نمو عضلاتها ويسبب هذا المرض فقد الشعر أو الفراء للحيوانات . أما السمية بالسلينيوم فتسبب مرض يطلق عليه Alkali disease وهذه التسمية قد تسبب التباس حيث لا يقصد به مرض القلوية الناتج عن زيادة القلويات أو القلويات الارضية ولكن ارتفاع الـ pH في الترب القلوية او القاعدية تعمل على زيادة جاهزية السلينيوم بحيث تصبح مستوياته سامة في النبات اما في الحيوانات فيتميز المرض بعدم تكون الاسنان او الاظلاف او الحوافر بالاضافة الى امكانية تساقط الشعر او الفراء . ولتلافي السمية به يجب عدم زيادة تراكيزه في الاعلاف بحيث لا تزيد عن 0.1-1 جزء بالمليون Se حيث لوحظ انه سبب سمية للحيوانات عندما كان تركيزه في الاعلاف بحدود 5 جزء بالمليون .

كما ان السمية ظهرت على الانسان عندما تغذى على نباتات زاد فيها تركيز السلينيوم عن 3 جزء بالمليون وهذا يعنى أنه باستطاعة الانسان أن يتحمل مئة ملغم من السلينيوم في غذائه يوميا ودون أن يسبب ذلك للانسان اية اضرار سامة وخاصة عند البالغين . كما ينصح بعدم استخدام مركبات السلينيوم مبيدات حشرات الخازن .

الرصاص Lead (Pb)

يتراوح تراكيز الرصاص في الترب الزراعية من 2-200 جزء بالمليون وقد تصل أحيانا الى اكثر من 3000 جزء بالمليون في المناطق المعرضة للتلوث وهو عادة يمسك على الطبقة العليا ولا ينزل للاعماق الا لعدة انجات فقط . كما تركيزه في النبات عادة قليل ويتراوح من 2-7 جزء بالمليون في مادة النبات ولكن ليس من المستبعد ان نحصل أحيانا على تراكيز تفوق ذلك بعشر مرات .

وفي الحمضيات يمكن الحصول على تراكيز من 0.5-4 جزء بالمليون في الاوراق الحديثة الجافة أما في الاوراق القديمة فقد نحصل على 10 جزء بالمليون رصاص في مادتها الجافة .

ان احتراق البنزين يعتبر المصدر الرئيسي للتلوث بالرصاص حيث يساهم المصدر بحوالي 80% من مصادر التلوث بالرصاص حيث يضاف الرصاص بمقدار 0.02-0.08% بالحجم في صورة Tetraethyl Lead عند تكرير البترول وفي الرصاص مع الغازات والدخان على شكل مركبات غير عضوية وان مايقرب من 50% من هذه المركبات الحاوية على الرصاص يسقط على بعد حوالي 100 متر مكان استعمال البنزين والباقي ينتشر في الهواء الجوي .

وفي احدى الدراسات وجد (Day et al., 1975) مايقرب من 1000 جزء بالمليون Pb في غبار الشوارع القريبة من المدينة الصناعية لمانشستر .

وفي الشوارع المزدهجة فلكل كيلومتر (على اساس 3000 سيارة) يمكن خفض مايعادل 50-90 pH مع العادم الى الهواء الجوي . وفي دراسة اخرى افترض 10000 سيارة في اليوم يمكن توقع حدوث تلوث بالهواء الجوي لكل بمقدار 3 جزء بالمليون Pb وعلى بعد 50 مترا من الطريق .

كما أن المصانع واحتراق الفحم تعتبران مصدرا آخر للتلوث بالرصاص .

وفي المانيا يعتبر الحد الحرج والمسموح به هو 0.7 ميكروغرام Pb / م³ من الهواء الجوي . والنباتات القريبة من الشوارع وجد فيها أرقام تفوق كثيرا الحد الذي يسبب سمية لهذه النباتات بحدود 20-100 جزء بالمليون Pb في المادة الجافة .

ان استخدام مخلفات المدن تعتبر مصدرا آخر للتلوث بالرصاص . كما يحدث تسمم للانسان عن طريق مياه الشرب عند استعمال أنابيب حاوية على الرصاص . وما تجدر الاشارة اليه أن العاملين في المناطق القريبة من محطات تعبئة البنزين أو العاملين بأنفسهم في المحطات وكذلك الاهالي القريبين منها قد لوحظ زيادة نسبة الرصاص في دمهم .

وعموما يظهر التأثير الضار للرصاص على النباتات عندما يزداد تركيزه في التربة عن 2000 جزء بالمليون وفي النبات عن 5 جزء بالمليون Pb

كما وجد (Judel and Stelte, 1977) حدوث سمية لنبات السبانخ بالرصاص عندما وصل تركيزه 100 جزء بالمليون في مادته الجافة . هذا ويقترح (Brewer, 1966) ان التركيز السمي لعدد من النباتات يكون بحدود 10-30 جزء بالمليون Pb في مادتها الجافة .

ولحسن الحظ فإن غسل النبات بالماء يزيل أكثر من 70% مما هو عالق به من الرصاص . كما ان ازالة الاوراق الخارجية للمحاصيل الورقية وكذلك تقشير ثمار الفاكهة تؤدي الى تلاشي الجزء الاعظم من الرصاص وازالة خطره على الانسان الناجم عن تجمع الرصاص في جدار الخلية وترسيبه . كما تبين انه من النادر حدوث تلوث لدرنات البطاطة او اللفت او الجزر او البنجر لصعوبة نزول الرصاص الى طبقات التربة السفلية حيث يمسك ويترسب فقط على الطبقة السطحية من التربة . كما أن ترسبه في الجدار يقلل تأثيره السمي على النبات .

الكاديوم Cadmium (Cd)

يشبه الكاديوم الزنك من حيث صفاته الكيميائية الا أن تأثيره السمي يكون اشد ضررا من تأثير الزنك وذلك لميله للارتباط بمجموعة (SH) Thiol في كل من البروتينات والانزيمات مما يعرقل عملها في داخل النبات . يقدر المحتوى الاعتيادي للكاديوم في النباتات بحدود 0.1-1 جزء بالمليون Cd في المادة الجافة . وعندما

يصل تركيزه من 1.5-3 جزء بالمليون تبين انه يسبب سمية على النباتات الا ليس غريباً ان تجد تراكيز اعلى من ذلك بكثير حيث ظهرت السمية على البن السكري عندما وصل تركيزه من 100-300 جزء بالمليون في الاوراق محسوبة اساس الوزن الجاف والبقلاء والبطاطة عندما زاد التركيز عن 50 جزء بالمليون بينما في نبات الخردل ظهرت السمية بالكادميوم عندما وصل تركيزه فيها الى جزء بالمليون .

إن الاصفرار الناتج عن السمية بالكادميوم قد يسبب التباساً في التشخيص حيث انه يشبه الاصفرار المتسبب عن النقص بعناصر Mn و Mg وعموماً يمكن اجمال مصادر التلوث بالكادميوم بما يلي : -

- (1) خامات الزنك تعتبر اهم مصادر التلوث بالكادميوم
- (2) مخلفات المدن حيث قد تحتوي على تراكيز قد تصل الى اكثر من 1500 بالمليون كاديوم .
- (3) إن الغبار والأتربة القريبة من طرق المواصلات تعتبر مصدراً جيداً لهذا العنصر حيث أن الدهون المحترقة والضغط المستمر على مو الاطارات تؤدي الى زيادة المحتوى بالكادميوم .

إن تحرك الكادميوم في النبات بطيء جداً ويكاد يكون معدوماً ولذلك يبقى عادةً في الجذور على أسطح التبادل ويمكن أن يحل مكانه على هذه الأكل من الـ Mn و Zn و Ca . وحيث ان أيون الكالسيوم هو السائد غالباً يحل مكانه وبالتالي فإنه يساهم في تخليص النبات من السمية بالكادميوم . كما ان اضافة الفسفور وليميله لتكوين مركبات معقدة مع الكادميوم كما هو في الـ (Mn, Zn, Cu, Fe) فإنها تقلل من خطر السمية بالكادميوم .

والتأثير السام ظهر على الانسان عندما زاد تركيز الكادميوم في النباتات يتغذى عليها عن 3 جزء بالمليون .

أما السمية بالكادميوم فتؤدي الى اضعاف النمو مع حدوث اصفرار تكون مصحوبة بحدوث تنخر موضعي على الاوراق الحديثة وأيضاً على الا القديمة وفيما بعد يحدث ذبول للاوراق والسمية على نبات البطاطة سببت الا الاجباري للثمار الامر الذي أدى الى صغر حجمها .

كما أن السمية بالكادميوم أدت الى اظهار نقص الحديد في الاجزاء اله حيث عرقلت انتقال الحديد من الجذور الى الاوراق .

الزئبق (Hg) Mercury or Quicksilver

تعتبر الغازات المتطايرة من مصانع السيلولوز وكذلك الغازات المتطايرة من البراكين أهم المصادر في تلوث البيئة بعنصر الزئبق . غير ان استخدامه كمبيد قد يشكل مصدر خطر على الحيوان أو الانسان . هذا وقد أعتمدت المستويات التالية على أنها طبيعية ولا تشكل أي خطر على النبات او الحيوان

0.01 ميكروغرام Hg / م³ من الهواء الجوي
20 ميكروغرام Hg / م³ من الهواء الجوي بالقرب من البراكين
0.04 جزء بالمليون Hg في المادة الجافة للنبات .

غير أننا قد نحصل على 20 ملغم Hg / م³ من الهواء الجوي بالقرب من المصانع . وقد أوضحت الدراسات أن حوالي 3% من الزئبق المكتسب صناعياً يتطاير أثناء الحصول عليه كأبخرة الى الهواء الجوي مما يؤدي الى رفع مستوياته بالقرب من المصانع . كما وجد في تجارب البيوت الزجاجية ان استخدام تركيز 50 جزء بالمليون في المحاليل المغذية من الزئبق قد أدت الى اضعاف النمو . كما تبين زيادة التركيز عن 1000 جزء بالمليون Hg في التربة قد سببت السمية في النباتات .

وتكاد تنحصر السمية بالزئبق في تأثيرها الضار على الجذور حيث تضعف قدرة النبات في امتصاص العناصر الغذائية الاخرى . ونظراً لتجمعه وتراكمه وعدم انتقاله من الجذور الى الاجزاء الهوائية فانه لا يوجد خوف على الانسان أو الحيوان عند تغذيتها على هذه الاجزاء الهوائية من النباتات .

ولكن بالقرب من مصانع استخراج الزئبق او البراكين وكما سبق ان أشرنا الى امكانية زيادة تركيزه في الهواء الجوي فانه يجب عدم زراعة المحاصيل التي تستغل منها الجذور أو الدرنات بسبب تجمع الزئبق فيها بتركيز قد تكون ضارة على الانسان او الحيوان أو على الأقل يجب فحصها مختبرياً للتأكد من سلامتها قبل تناهها أو تغذية الحيوانات بها .

هذا وقد سجلت الارقام الآتية في التربة :

الولايات المتحدة من 0.1-0.33 جزء بالمليون Hg بالقرب من المصانع والمطارات .
اليابان من 0.2-0.7 بالمليون Hg بالقرب من المدن الصناعية ،
ومن 1-468 جزء بالمليون Hg بالقرب من مصانع استخراج الزئبق
النرويج من 0.07-0.37 جزء بالمليون Hg في تربة الغابات
النمسا من 0.005-0.34 جزء بالمليون Hg

الزرنيخ (As) Arsenic

يوجد في الترب بحدود 0.1-500 جزء بالمليون As غير أن معظم الترب تحتوي كمعدل على ما يقرب من 10 جزء بالمليون As .

ولا توجد له أية أهمية للنبات بل هو يشبه الرصاص حيث يعتبر ساماً حتى ولو وجد بتركيز قليلة جداً في مادة النبات الجافة .

والسمية بالزرنيخ تتوقف على نوع التربة حيث يحدث له تجمع في الترب الطينية او تلك المحتوية على كميات كبيرة نسبياً من الطين في حين انه يغسل وبشدة في الترب الرملية الخفيفة .

وعادة تموت النباتات وبسرعة وقبل ان يصل تركيز الزرنيخ فيها الى مستويات عالية ولذلك فلا داعي للقلق على صحة الانسان او الحيوان .

اليود (I) Iodine

عند وجود اليود في النبات بتركيز قليل يكون له تأثير تحفيزي ، غير أن التركيز العالي منه يكون له تأثير سلبي وسام على النبات .

والتأثير التحفيزي لليود يحصل بتركيز حوالي 0.1 جزء بالمليون I في حين أن التركيز 0.5-1 جزء بالمليون يكون له تأثير سام . ويعتبر التركيز من 0.2-0.4 جزء بالمليون تركيزاً معتدلاً . غير أننا نجد بعض النباتات قد يصل تركيز اليود في مادتها الجافة الى اكثر من 5 جزء بالمليون .

إن اضافة المواد العضوية تعمل على زيادة جاهزية اليود حيث تقوم بتحريره من مركباته المعقدة ، كما أن الاعشاب البحرية وفضلات الطيور تعتبر غنية باليود . إن نبات العشب البحري المسمى (Kelp) يعتبر غنياً باليود ويمكن استخدامه للحصول على اليود منه حيث يمكن استخراج ما يعادل من 6-10 كغم I / طن من هذا العشب .

ويظهر التأثير السمي لليود في البداية على قمة وحواف الاوراق القديمة حيث يظهر موت موضعي منها ويصبح ذلك تساقط الاوراق ومع اشتداد اعراض السمية يموت النبات بكامله .

يعتبر اليود ضرورياً للانسان لعلاقته بهرمون الثيروكسين Tyroxine والمهم في علاج تضخم الغدة الدرقية Goiter وهذا الهرمون يحتوي على 65% I .

وعموماً يعتبر التركيز 0.12 جزء بالمليون I كافي لسد احتياجات الحيوانات المجترة . أما في حالات الحمل فانها تحتاج الى ما يقرب من 0.8 جزء بالمليون I .

هذا وتستهلك الحيوانات التي تتراوح أوزانها 60 كغم ما يعادل 2-0.02 ملغم I والابقار التي وزنها 600 كغم تستهلك من 3-30 ملغم يود يومياً .

يعتبر زيت كبد الحوت ولحم الاسماك غنية باليود فهي تحتوي على كمية تتراوح من 0.260-0.623 و 1.650-0.910 ملغم I / غم على التوالي . ولهذا السبب فان سكان المناطق القريبة من شواطئ البحار والمحيطات أو ضفاف الانهار نادراً ما يعانون من مرض تضخم الغدة الدرقية بينما نجد الناس الذي لا يتناولون الاسماك أو مشتقاتها هم اكثر الناس عرضة للاصابة بتضخم الغدة الدرقية .

البروم (Br) Bromide

تأثيره السمي أقل من اليود . ويتواجد في التربة بتركيز منخفضة جداً ولهذا السبب فان السمية به من الناحية العملية غير واردة الا ان استعمال المواد المعقمة للترب مثل بروميد الميثيل قد أدت الى اظهار السمية به على بعض النباتات الحساسة له مثل البطاطة والسبانخ والبنجر السكري كما أشار الى ذلك (Martin, 1966) .

تعتبر نباتات الجزر والتبغ والطماطة من النباتات المتأقلمة حيث يمكنها أن تجمع تراكيز عالية منه قد تصل الى أكثر من 2000 جزء بالمليون Br في مادتها الجافة ودون أن يسبب ذلك لها أية آثار سلبية ضارة . إن المستويات الاعتيادية للبروم في النباتات تتراوح من صفر - 260 جزء بالمليون Br في مادتها الجافة . وهناك رأي على ان البروم يمكن ان يحل جزئياً محل الكلور . والسمية بالبروم شبيهة بالاعراض المتسببة عن زيادة الاملاح حيث يصبح لون الاوراق مصفراً والذي يتبعه عادة موت موضعي للانسجة والذي يظهر عادة على قمة وحواف الاوراق . وعملية انبات البذور تكون محدودة ومماقة بشكل كبير .

الفلور (F) Fluorine

إن المحتوى الاعتيادي للنباتات من الفلور هو بحدود 3-30 جزء بالمليون في مادتها الجافة . ولكن بالقرب من مصانع الفوسفات والالومنيوم فإننا قد نحصل على تراكيز قد تصل الى أكثر من 1000-1300 جزء بالمليون F في مادة النبات الجافة . وقد لوحظ ان نبات الجت المزروع على بعد 2 كم فقط من هذه المصانع قد انخفض الرقم السابق الى ما يقرب من 200-300 جزء بالمليون F .

3

إن صخر الفوسفات الخام مثل الفلور أباتيت قد يحتوي على 3-4% F وهذا يتطابق الى الهواء الجوي على شكل سليكات الفلور مع رطوبة الهواء الجوي تكون حامض الهيدروفلوريك HF الذي يعتبر ساماً للأجزاء الهوائية من النباتات . وتنفوق السمية بهذا الحامض السمية الناتجة عن SO_2 بآلاف المرات . إن نبات الجت والشاي تعتبر من النباتات المهيضة للفلور حيث تقوم بترسيبه بشكل غير جاهز للنباتات ولذلك فإنها تتحمل تراكيز عالية منه . لذا ينصح بزراعتها بالقرب من هذه المصانع لتنقية وتخليص البيئة من السمية الخطيرة للفلور .

وفي إحدى الدراسات تبين أن الشاي يحتوي على تركيز مقداره 60 جزء بالمليون من الفلور .

إن السمية بالفلور أدت الى اسوداد وحروق الأوراق والتي تبدأ عليها كشريط رفيع على قمة وحواف الأوراق ثم تمتد الى وسط نصل الورقة وفي الحالات الشديدة قد يشمل الورقة بكاملها مع بقاء منطقة ضيقة خضراء تحيط بالعرق الوسطي للورقة . كما يحدث انحناء حواف الورقة للأعلى حيث تشبه المسحاة أو الملققة مع حدوث تجمع لها . هذا وتبأثر الجذور بدرجة أشد من الأجزاء الهوائية . وبالنسبة للأشجار فإنها قد تفقد أوراقها عدة مرات بمعنى كلما ظهرت أوراق جديدة فإنها تسقط وهكذا . كما يلاحظ قلة عدد الثمار وقد تموت الشجرة في الموسم التالي . ويذكر أن أشجار العنب والخوخ والعزموط حساسة للسمية بالفلور .

وفي التفاح ظهرت السمية عندما كان محتوي أوراقها 390 جزء بالمليون F في مادتها الجافة . وقد سببت السمية بالفلور بالإضافة الى الحروق التي ظهرت على قمة وحواف الأوراق وانحناء حوافها الى الأعلى الى تمزق الثمار واحاطة المنطقة الممزقة بهالة أرجوانية مع ظهور مناطق غائرة على الثمرة مما قد يسبب حدوث التباس في التشخيص بين السمية بالفلور والنقص بالبورون .

إن استخدام الفلور كمبيد قد يسبب سمية للمحاصيل الزراعية والذي قد ينعكس على صحة الإنسان والحيوان سلبياً وخاصة إذا ما تجاوز تركيزه فيها الى أكثر من 2.8 جزء بالمليون F في مادتها الجافة . وبعض البلدان تسمح بتسويق التفاح والخوخ حتى 7 جزء بالمليون F .

ويظهر أن التأثير الضار للفلور يرجع الى تأثيره على بعض الانزيمات المهمة في دورة كريبس حيث يعمل على تثبيط عملها مثل انزيم Aconitase الذي يكون مسؤولاً عن تحويل السترات الى الايزوسترات في دورة كريبس للتنفس مما يسبب

توقف الدورة وعدم تمكين النبات من الحصول على الطاقة اللازمة له نتيجة عملية هدم الكربوهيدرات . كما تبين تأثيره على انزيم الـ Enolase الذي يعمل على إزالة جزيئة ماء في مجرى الـ Glycolysis كما انه يعمل على ايقاف عمل انزيم الـ Pyrophosphate (1975 Lehninger) مما يحفز اكسدة الاحماض الدهنية الحرة .

وعموماً ان الكميات التي تمتص من الفلور اقل بمائة مرة من الكلور . الفلور يضاف عادة بمعدل ١ جزء بالمليون لمياه الشرب لأنه ضروري لنمو العظام والاسنان وخاصة الاطفال ولذلك فلا عجب ان نلاحظ ان بعض معاجين الاسنان تحتوي على الفلور في تركيبها . غير انه لوحظ ضعف في نمو العظام اذا ما أضيف بتركيز اكثر من 2 جزء بالمليون F في مياه الشرب .

النيكل (Ni) Nickel

يختلف محتوى الترب من النيكل حيث يتراوح من 50-500 جزء بالمليون Ni كلي وفي المتوسط بحدود 100 جزء بالمليون Ni لمعظم الترب . غير ان تربة السربنتين تعتبر غنية جداً بالنيكل وقد يصل تركيزه فيها الى اكثر من 6 آلاف جزء بالمليون Ni كلي .

تتحمل النباتات التراكمات منه في الترب الى 50 جزء بالمليون Ni كلي وتركيزه في النباتات يتراوح عادة من 0.5-5 جزء بالمليون Ni في مادتها الجافة ، بينما نجد النباتات المتأقلمة له قد يصل تركيزه فيها الى اكثر من 200 جزء بالمليون Ni في مادتها الجافة . والنيكل سهل الامتصاص بواسطة الجذور كما في حالة عنصر الكاديوم ، وعندما يصل تركيزه في مادة النبات الجافة من 40-50 جزء بالمليون فانه يسبب سمية لها . فقد وجد في الطماطة ان التركيز 40 جزء بالمليون في مادتها الجافة قد سبب اضراراً لها وعندما وصل الى 150 جزء بالمليون Ni في مادتها الجافة توقف نمو النبات وظهر بقع بنية على الثمار .

كما ان التراكمات 88 ، 100 جزء بالمليون Ni في المادة الجافة قد سبب سمية على نباتي الشعير والشوفان على التوالي وكانت الاعراض شبيهة بنقص الحديد .

وفي النباتات ذوات الفلقتين كانت السمية بالنيكل شبيهة بنقص المنغنيز حيث سببت اصفراراً فيما بين العروق ومع اشتداد اعراض السمية أدت الى موت النبات .

وفي النجيليات فبالإضافة الى الشرائط المصفرة على طول الورقة قد يصبح لون الورقة ابيضاً وفي الحالات الشديدة للسمية بالنيكل يحدث موت موضعي على حواف الاوراق . وتؤدي زيادة النيكل عادة الى اتلاف الجذور ، الامر الذي يؤثر سلباً على عملية امتصاص العناصر الغذائية الاخرى . وتأثيره السمي عادة اشد من التأثير السمي لعنصر الكوبلت .

وعموماً تظهر السمية بالنيكل في الترب الحامضية وإن اضافة الجير لها يقلل من خطر السمية به .

هذا وقد اشار كل من (Nielson, 1971) و (Dixon et al., 1975) الى أهميته للحيوان وانه قد يكون مفيداً للنبات .

الكروم (Chromium (Cr)

يعتقد بأن له تأثيرات ايجابية في زيادة كفاءة البقوليات في تثبيت النتروجين الجوي والى فائدته في تكوين جزيئة الكلوروفيل . ولوحظ أن اضافة 0.1 جزء بالمليون Cr للخيار و 0.2 غم لكل شجرة من العنب كان لهما تأثير مفيد .

وبالنسبة لنبات الذرة الصفراء وجد أن التراكيز من 5-50 جزء بالمليون Cr في مادة النبات الجافة كان لها تأثيرات سلبية على نمو النبات . وفي تجربة اخرى تبين أن اضافة 5 جزء بالمليون Cr على هيئة كبريتات الكروم في المحاليل المغذية لنبات الشوفان كان لها تأثيراً ضاراً أدت الى ضعف نمو المجموعة الجذرية وكانت الاوراق رفيعة ملونة بلون ارجواني محمر مع حدوث موت موضعي عليها .

ويقدر محتوى الترب من 5-100 جزء بالمليون Cr . غير اننا نجد بعض الترب قد يصل فيها تركيز الكروم الى اكثر من 1000 جزء بالمليون Cr . كما ان تربة السربنتين Serpentine في بورت ريكو تحتوي على 3-5% على هيئة اوكسيد الكروم والذي سبب سمية للنباتات . وبصورة عامة الترب التي تحتوي بحدود 1000 جزء بالمليون Cr كلي تكون سامة بهذا العنصر للنباتات . ويعتبر الكروم مضاداً لكثير من مسببات المرضية .

الليثيوم (Li) Lithium

ادت السمية به الى احداث تبقع على اوراق الحمضيات وكانت شبيهة بنقص الزنك والتي تعرف باسم

Mottling or Frenching of Citrus

الباريوم (Ba) Barium

يوجد تقريبا في جميع انواع الترب والنباتات . غير ان تركيزه في النبات منخفض . يبلغ تركيزه في التربة من 0.001-3.7% بالوزن Ba ويعتبر نبات البندق مجمع جيد للباريوم . وهناك آراء على أن الباريوم يمكن ان يحل جزئيا محل الكالسيوم في بعض وظائفه .
يستطيع النبات أن يتخلص من التأثير السمي للباريوم عن طريق ترسيبه على هيئة اكسالات الباريوم .

الروبيديوم (Rb) Rubidium

يمسك بقوة بواسطة معادن الطين ولذلك فهو لا ينزل للاعماق . ويتراوح تركيزه في النباتات من آثار الى 1% Rb في مادتها الجافة تقريبا . وقد يحل الروبيديوم محل البوتاسيوم في بعض وظائفه .

السترونتيوم (Sr) Strontium

ينتشر بدرجة كبيرة في الطبيعة ولكن مع ذلك فإن تركيزه في الترب قليل جدا وبحدود 0.05% بالوزن وعادة تحتوي النباتات على خمس هذه النسبة . ولم تثبت فائده للنبات وقد يكون ساما للنبات . غير أن تأثيره السمي اقل من تأثير الباريوم .

الكالسيوم (Ca) Gallium

ضروري للفطر *Aspergillus niger* ولم تثبت اهميته سواء للنباتات او الحيوانات .

التيتانيوم (Ti) Titanium

ينتشر التيتانيوم انتشارا واسعا في الطبيعة . ومعظم انواع الترب تحتوي تراكيز عادة أكثر من 0.5% على هيئة اكسيد التيتانيوم . بيد أن تربة هاواي قد تحتوي على 10% اكسيد التيتانيوم . ويكون معظم التيتانيوم موجودا بشكل حامل كما في حالة عنصر السليكون .

واوراق النباتات تحتوي من 5-6 جزء بالمليون Ti في مادتها الجافة . تشبه اعراض السمية بالتيتانيوم اعراض السمية بعناصر الحديد والالومنيوم والزنك حيث يلاحظ شحوب الكلوروفيل وأحيانا تكون الاوراق بيضاء .



اعراض النقص والسمية بالعناصر الغذائية

1.8 - فكرة عامة

إن موضوع اعراض النقص والسمية بالعناصر المعدنية والتي تظهر على النباتات والناجمة عن التغذية غير الكافية أو نتيجة للزيادة بعنصر غذائي معين أو أكثر والتي قد يتزامن أو يتصادف وجودها في آن واحد قد درست وبشكل مكثف منذ بداية العهد الحديث لعلم تغذية النبات . وطبقاً لما أورده (Kühn, 1972) فإن Gris, 1847/1844 يعتبر أول من أثبت وبالدلائل المادية الملموسة على أن التغذية غير الكافية بأحد العناصر الغذائية تؤدي الى احداث تغييرات نموذجية وواضحة على النباتات . كما أن الدراسات التي قام بها Salmhorstar في عامي 1849 و 1851 هي الاخرى جديرة بالذكر حيث يعد من الرواد الاوائل والذي درس تأثير العناصر الغذائية منفردة أو مجتمعة على نبات الشوفان وقام بوصف للالوان التي تظهر على النبات نتيجة لذلك حيث نجد تغييرات مثل « رمادي » و « أخضر مصفر » و « أخضر شاحب » و « أخضر داكن » . ومنذ ذلك الحين فإن التعرف على مظاهر نقص العناصر الغذائية ميدانياً يعتبر من أبسط الوسائل والتي لا يمكن الاستغناء عنها والتي يجب على كل العاملين في المجال الزراعي ضرورة معرفتها والامام بها .

وطبقاً لما ذكره (Clerling, 1971) فإن Vorolev, 1917 يعتبر أول من قام بوصف مظاهر أعراض نقص العناصر الغذائية في الاتحاد السوفيتي . كما ظهرت وما تزال تظهر نشرات وبحوث عديدة حول نقص العناصر الغذائية أو السمية بها والتي تتضمن عادة صور ملونة أو غير ملونة . وسنحاول في هذا الفصل توضيح بعض النقاط المهمة باختصار .

2.8 - الاساسيات والمبادئ العامة للتعرف على النقص او السمية بالعناصر المعدنية .

وتشمل هذه كلاً مما يلي : -

1 - أن يكون للمرء خبرة جيدة وطويلة وأن يكون ملماً الماماً كاملاً وشاملاً بكل الاسباب والعوامل التي تؤدي الى ظهور اعراض النقص او السمية بالعناصر الغذائية .

2 - يجب امتلاك القدرة والمعرفة التامة للتمييز بين الاعراض الناتجة عن نقص العناصر الغذائية أو السمية بها وبين الاعراض الناتجة عن اصابة النباتات بالامراض الفايروسية أو السمية نتيجة الرش بالمبيدات أو اصابة النباتات بالصقيع أو الجفاف .. الخ . وبهذا فانه يجب فحص النبات كاملاً وبدقة متناهية قبل ابداء الرأي .

3 - ضرورة الالمام الكامل بوظائف العنصر الفسلجية المختلفة في النبات لان ذلك يسهل من امكانية التعرف وبسرعة في عملية تحديد العنصر المسؤول عن احداث الخلل الناشيء على النبات في أيضه الحيوي . فعلى سبيل المثال لا الحصر فإن نقص عنصر المولبدنم يؤدي الى تجمع النترات والاميدات علاوة على الانخفاض الواضح في الحاصل ونوعيته . كما أن نقص عنصر البوتاسيوم يعمل على تجمع الاميدات السامة مثل Agmatine والـ Putrescine . وفي حالة نقص عنصر البورون يحدث تراكم للكالكول والذي هو عبارة عن نوع من Polysaccharides مما يؤدي الى انسداد الاوعية الناقلة وعدم انتقال ووصول المواد المصنعة الى قمة النبات الامر الذي يؤدي الى موت البرعم الطرفي . كما أن نقص عنصر الكالسيوم يتسبب في اكسدة المركبات الفينولية وتحويلها الى quinones والتي ترتبط بدورها مع الاحماض الامينية والبروتينات مكونة الميلانين والتي تؤدي أيضاً الى انسداد الاوعية الناقلة في الاوراق حيث تبدو بنية اللون ويصحب ذلك أيضاً موت البرعم الطرفي للنبات .

كذلك فإن بعض العناصر الغذائية تعمل كمساعدات انزيمية وإنها ليست فقط ضرورية لتكوين الانزيمات ولكن أيضاً فإنها ضرورية لفعاليتها وعليه فان نقصها يؤدي الى احداث خلل في التفاعلات الايضية التي تقوم بها تلك الانزيمات الامر الذي قد يؤدي الى احداث تغيرات مورفولوجية في بناء الخلايا والانسجة او الى حدوث تشوهات معينة والتي تكون غالباً نموذجية لهذا العنصر أو ذاك . وبالطبع فإن ذلك غالباً مايكون مصحوباً بحدوث اعاقة في نمو النبات او الى موت أجزاء من النبات او حتى موت النبات

بكامله . والامثلة على ذلك كثيرة حيث لا يحدث تكوين الكلوروفيل في حالة غياب المغنيسيوم . أو حدوث تثبيط لعملية تكوين اللكتين نتيجة لانخفاض نشاط انزيم الـ Polyphenoloxidase في حالة نقص النحاس . أو حدوث ذبول للنبات نتيجة لانخفاض قيمة الضغط الانتفاخي عند نقص عنصر البوتاسيوم .

إن تجمع النترات والاميدات في حالة نقص المولبدنم قد تسبب سمية بها على النباتات . كذلك فإن السمية بعنصر الالومنيوم في الترب الحامضية غالباً ماتكون مصحوبة بنقص الفسفور أو بنقص الحديد .

... ضرورة التمييز بين أعراض نقص العنصر في مراحل نمو النبات المختلفة . فعلى سبيل المثال نقص عنصر النتروجين يجعل النبات متقرناً ولونه اخضر شاحباً والاوراق تكاد تكون قائمة حيث تشكل زاوية حادة ضيقة مع الساق بمعنى ان النبات يكون غير مفترش وذلك في مراحل نمو النبات الاولى . في حين تكون الاوراق الحديثة اعتيادية مع حدوث موت وتساقط للاوراق القديمة في مراحل نمو النبات المتأخرة .

وبما تجدر الاشارة اليه أن مظاهر نقص العنصر الواحد قد تختلف كثيراً باختلاف أنواع النباتات فعلى الرغم من أن نقص النتروجين يؤدي الى اصفرار كامل للاوراق القديمة والى موتها وتساقطها فإن نقصه في اللهانة والقرنايط واشجار الفاكهة ونتيجة تجمع السكريات وصبغة الانثوسيانين يسبب ظهور لون احمر او بنفسجي غمر وهذه الاعراض شبيهة بنقص الفسفور في النباتات .

وبما تجدر ملاحظته أيضاً ان الخلل الناتج في الايض الحيوي نتيجة للنقص او السمية بالعناصر الغذائية يؤدي الى ظهور أعراض متشابهة في حالة دخول نفس العناصر في نفس العمليات الحيوية التي يقوم بها النبات . فمثلاً نقص المنغنيز يؤدي الى تلون الاوراق الحديثة بلون اخضر فاتح أو اخضر زيتوني وهذا بشكل عام قد يشبه نقص عنصر النتروجين والتي من الصعب التمييز بينهما اعتماداً على المظهر الخارجي ولذلك فإن اخذ عينات نباتية او الاستعانة كذلك بأخذ عينات من التربة لفحصها في المختبر تكون مهمة وضرورية لمعرفة السبب الحقيقي . كما ان النقص الشديد بالمنغنيز قد يشبه النقص بالحديد أو النقص بالمغنيسيوم حيث أن هذه العناصر الثلاثة تشترك في دورة كريبس للتنفس وعليه فإن التحليل يكون ضرورياً أيضاً في مثل هذه الحالة .

وعند أخذ النماذج النباتية لتحليلها مختبرياً يجب عدم أخذ الاجزاء النباتية المصابة فقد ولكن يجب أن تكون العينة النباتية شاملة حتى للاجزاء السليمة من النبات حيث أن الاجزاء المعرضة بشدة لنقص العنصر الغذائي قد يحدث بها تدهم للمركبات العضوية أو نظراً لانخفاض كميتها فإنها غالباً تحتوي على تراكيز عالية من العناصر الغذائية في رماد عيناتها والتي من ضمنها كذلك العنصر المراد فحصه مختبرياً.

5 - ضرورة التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية التي يسببها نقص العنصر الغذائي. والاعراض الرئيسية ترتبط أساساً بوظائف العنصر نفسه بداخل النبات كأن يدخل مباشرة في تكوين البروتينات أو كجزء من نظام الانزيمات أو في جزيئة الكلوروفيل وفي هذه الحالة تظهر أعراض نقص العنصر الغذائي في بداية حياة النبات مثل النقص بعناصر الـ N و S و Mg. أو قد يكون العنصر ضرورياً لنقل نواتج عملية التمثيل فتظهر الاعراض في مرحلة متأخرة من نمو النبات كما في حالة B و K. إن تجمع السكريات الناتجة عن عدم انتقالها نتيجة لنقص عنصر البوتاسيوم ولزيادة تكون صبغة الانثوسيانين في هذه الحالة تؤدي الى ظهور لون أرجواني شبيه بأعراض نقص الفسفور ولذلك يجب ضرورة الانتباه الى ذلك.

3.8 التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية لنقص العناصر الغذائية وسنحاول هنا أن نعطي مثالين لكيفية التمييز بين الاعراض الرئيسية والثانوية التي قد يسببها نقص بعنصر غذائي.

المثال الاول (عنصر الكبريت)

نتيجة للتأثيرات السلبية التي يسببها نقص الكبريت لدخوله في تكوين البروتين فإن أعراض نقصه تظهر في بداية حياة النبات حيث يسبب اصفراراً للنبات وتكون الاعراض شبيهة بأعراض نقص النتروجين لدرجة قد يصعب حتى على كثير من المختصين ذوي الخبرة من قدرة التمييز بينهما. ونتيجة للخلل الذي يحدث في بنية البروتين فيحدث تجمع للنترات وكذلك تجمع للفسفور المعدني بمعنى عدم استفادة النبات من الفسفور المعدني المضاف مما يتسبب في احداث نقص بعنصر الفسفور وعليه فيظهر لون أرجواني راجع أساساً الى نقص عنصر الكبريت. وعليه فتظهر أعراض بعيدة كل البعد عن الاعراض الرئيسية النموذجية والتي يتميز بها النقص بعنصر الكبريت وهي تقزم للنبات مع اصفرار النبات وخاصة الاوراق الحديثة والتي تبدو صفراء تماماً بما فيها العروق الرئيسية للورقة والتي تظل طرية ولا تجف ولا تتساقط.

المثال الثاني (عنصر البوتاسيوم)

نظراً لأهميته في تنشيط أكثر من 60 انزيماً ولتحكمه في عملية غلق وفتح ثغور الورقة واشتراكه في عملية تنظيم الجهد الازموزي لخلايا النبات ولاشتراكه في انتاج مركب الطاقة الـ ATP وبالتالي رفعه لقدرة النبات في عملية التركيب الضوئي فتظهر أعراض نقصه عادة في وقت مبكر أكثر مما في حالة نقص عنصر المغنيسيوم والتي تتميز بذبول دائم للأوراق حيث تكون الأوراق مرتحية ومتدلية للأسفل . ولكن في المراحل المتأخرة من نمو النبات ولأهميته في عملية نقل الكربوهيدرات من اماكن تكوينها الى اماكن تخزينها فإن نقصه يسبب تجمع لها مما يضيف على الأوراق لوناً أرجوانياً شبيهاً بأعراض نقص عنصر الفسفور لذا فإن مثل هذه الاعراض الاخيرة تعتبر أعراضاً ثانوية للنقص بعنصر البوتاسيوم في حين أن ذبول النبات يعتبر من الاعراض الرئيسية .

4.8 - اسباب ظهور أعراض نقص العناصر الغذائية :

- (1) تركيز العنصر الجاهز للامتصاص في التربة غير كاف لحدوث نمو مثالي للنبات وفي جميع مراحل نموه المختلفة حيث أن احتياجات النبات من عنصر ما قد تختلف باختلاف مراحل نموه فمثلا النجيليات يكون اقصى احتياج لها من عنصر المغنيسيوم في مرحلة التفرعات .
- (2) استنزاف العنصر المستمر من التربة مع عدم التعويض به بالكميات المناسبة للمحاصيل اللاحقة في الدورة الزراعية .
- (3) الفصل المستمر للعنصر من مقد التربة ونزوله الى الاعماق بعيدا عن منطقة امتصاص جذور النبات . أو ترسيبه على هيئة مركبات معقدة غير جاهزة للامتصاص مثل ترسيب الحديد على صورة هيدروكسيد الحديد $Fe(OH)_3$ او ترسيب الفسفور على شكل فوسفات الحديد أو الالومنيوم $AlPO_4$ و $FePO_4$.
- (4) عوامل عائدة للتربة نفسها مثل نقص الاوكسجين وزيادة غاز CO_2 . او زيادة تركيز الكربونات والبيكربونات أو الى وجود طبقة صماء في التربة تجعل بدورها الظروف غدقة مما يشجع عملية فقد النتروجين على شكل غاز او حدوث تجمع لكبريتيد الهيدروجين H_2S او زيادة تراكيز الـ Mn السامة والتي بدورها تؤدي الى احداث نقص بالـ N او الـ Fe .

- (5) تغييرات في درجة تفاعل التربة نتيجة لتغير محتوى التربة من CaCO_3 او المادة العضوية والتي تلعب دورا مهما في تأثيرها على جاهزية العناصر الغذائية وخاصة العناصر الغذائية الصغرى .
- (6) الاختلاف في قدرة الترب الامدادية والتي تتوقف بدورها على عوامل كثيرة منها نسجة التربة وبنائها ومحتواها من الطين والدبال والتي تتحكم بدورها في محتوى التربة من الماء والهواء وحرارة التربة أو الرقم الهيدروجيني للتربة كما سبق وأن بينا ذلك . كما أن نوع النبات يلعب دورا في ذلك .
- (7) المنافسة أو التضاد بين العناصر الغذائية التي تحدث أثناء عملية امتصاصها من قبل جذور النباتات .
- حيث أن زيادة تركيز عنصر غذائي قد يعيق أو يعرقل امتصاص عنصر غذائي آخر . فمثلا وجود تراكيز عالية من كل من الـ Ca او الـ Mg تقلل من امتصاص الـ K وقد تسبب في ظهور أعراض نقصه .
- (8) سوء نسبة العناصر الغذائية في التربة أو في النبات فمثلا زيادة الفسفور في التربة او في النبات قد يعمل على ترسيب العناصر الغذائية الصغرى (Fe و Mn و Cu و Zn) في التربة او في الجذور ويعرقل انتقالها الى الاجزاء الهوائية مما يسبب ظهور نقصها عليها .
- (9) الزراعة الكثيفة أو زراعة اصناف ذات انتاجية عالية حيث تكون هنا الاحتياجات من العناصر الغذائية عالية . او زراعة الترب البكر (virgin) والتي تزرع لأول مرة فقد تعاني مثل هذه الترب من النقص بعنصر ما وذون معرفة مسبقة بذلك . او زراعة محصول مستهلك لآخذ العناصر الغذائية من تربة كانت غير مخصصة أصلا لزراعته في السابق مثل زراعة الترب الخفيفة الفقيرة بالبورون بمحصول البنجر السكري ذو الاحتياجات العالية للبورون . او زراعة الحت في تربة ذات محتوى واطيء من عنصري الكالسيوم او المولبدنم . او زراعة الاصناف الجديدة في مناطق كانت مستغلة سابقا ولعشرات السنين مما قد يؤدي الى ظهور أعراض نقص بأحد العناصر الغذائية أو أكثر عليها .
- (10) إن عدم استواء الارض المزروعة قد يعرض النباتات في المناطق المنخفضة الى ظروف غدقة لاهوائية وهنا قد تعاني النباتات من النقص بالـ N او الحديد او للسيمية بالـ Mn أو H_2S . اما المناطق المرتفعة فقد تتعرض نباتاتها الى ظروف الجفاف وتكون النباتات مهددة لآظهار أعراض نقص عناصر الـ Cu و Mo وبدرجة اشد وطأ لعنصري الـ B و Ca واللذان يمتصان بالدرجة الاساس ويدخلان النبات عن طريق تيار النتح .

- (11) اجراءات التسميد الحاطئة كالاكتناء باضافة عنصر غذائي بكميات كبيرة مع اهمال التسميد بالعناصر الغذائية الاخرى كما يحدث في حالات كثيرة كالتسميد بالنروجين أو الفسفور .
- (12) اختلاف احتياجات النباتات من عنصر او عناصر غذائية معينة يجعلها لان تكون معرضة أكثر من غيرها بظهور نقصها على النباتات والمزروعة معها والمتواجدة في نفس المكان والزمان . حيث تكون المحاصيل الدرنية حساسة للبوتاسيوم ونبات عباد الشمس حساس للبورون والسبانخ حساس للحديد والحمضيات والتفاح حساسة للكالسيوم .
- (13) علاقة العنصر بتطور مراحل نمو النبات
- يلاحظ ظهور نقص عنصر غذائي في مرحلة مبكرة من نمو النبات والتي ترجع بالاساس الى ضعف المجموعة الجذرية للنبات التي تعجز عن امتصاص الكميات اللازمة من هذا العنصر بالرغم من وجوده بكميات جاهزة تفي حاجته ثم يلاحظ تلاشي تلك الاعراض مع تطور نمو النبات وفي هذه الحالة تصبح المجموعة الجذرية جيدة وتقوم بامتصاص ما يحتاجه النبات من هذا العنصر . وهذه حالة نموذجية للمحاصيل الحولية مثل النجيليات وكذلك محاصيل الخضراوات السريعة النمو والتي يظهر عليها نقص المغنيسيوم في حين لا يظهر على النباتات الاخرى والبطيئة النمو والمزروعة معها في نفس التربة .
- كما يلاحظ ظهور نقص الحديد على الاشجار بعد مرور 4-6 سنوات من زراعتها والذي يرجع الى تعمق جذورها الى الطبقة تحت السطحية والتي تعاني من نقص الاوكسجين والذي يؤثر كثيرا على قدرة جذورها في امتصاص عنصر الحديد . كما ان الاشجار في هذا العمر تكون معرضة للنقص بعنصر البوتاسيوم والذي يتركز وجوده عادة في الطبقة السطحية من التربة . وهذا ما يلاحظ غالبا في الترب الطينية الثقيلة التي لاتزول أعراضه حتى باضافة البوتاسيوم لها حيث يمدص البوتاسيوم في الطبقة السطحية لهذه الترب . وينصح في هذه الحالة بضرورة خلط الكميات المضافة منه كسماد جيدا مع تربة الطبقة تحت السطحية المتواجد فيها المنطقة الفعالة من الجذور في عملية الامتصاص .
- (14) اضافة مخلفات المدن قد تسبب غالبا السمية وخاصة بالعناصر المعدنية الثقيلة والتي قد تنعكس تأثيراتها السلبية على الانسان أو الحيوان الذي يتغذى على مثل هذه النباتات . وعلاوة على ذلك فإن وجود هذه العناصر بتركيز عالية قد تسبب منافسة لعناصر غذائية ثقيلة اخرى مثل الحديد .. الخ وتؤدي الى ظهور نقصها على النباتات .

5.8 العوامل المختلفة التي تؤدي الى صعوبة تشخيص النقص بالعناصر الغذائية

إن عملية تشخيص نقص العناصر الغذائية او السمية بها ليست سهلة كما يتبادر للذهن لأول وهلة . فهي عملية معقدة وتحتاج الى خبرة طويلة . وتكمن الصعوبة في عملية التشخيص للأسباب الآتية : -

(1) هناك اعراض تشبه الاعراض الناتجة عن نقص العناصر الغذائية او السمية بها ولكنها غير متسببة عن العناصر الغذائية مثل تجمع السكريات في نبات الذرة الصفراء الناتج بسبب حدوث كسر في العرق الرئيسي للاوراق او سقوط العرائص فيظهر لون أرجواني على الاوراق والذي يشبه اعراض النقص بعنصر الفسفور .

ومن الامثلة الاخرى في الخريف وعندما تتجمع السكريات ولزيادة تكون حامض الابسيسيك في الاوراق استعدادا لسقوطها فيصبح لونها أرجوانيا والتي تسبب أيضا التباسا في عملية التشخيص حيث قد يقال انها تعاني من نقص الفسفور ولكن الحقيقة تشير الى غير ذلك تماما .

(2) العوامل الخارجية او البيئية او اصابة النباتات بالآفات الضارة قد تسبب اغراضا شبيهة او مقارنة لاعراض النقص او السمية بالعناصر المعدنية فعلى سبيل المثال نذكر منها مايلي : -

أ) الظروف الجوية

حيث ان انخفاض درجات الحرارة والصقيع تؤدي الى تكوين لون أرجواني محمر يشبه النقص بعنصري الـ N و P كما في حالة بادرات الحنطة والطماطة واشجار الفاكهة . او الى جفاف حواف وقمة الاوراق مثل النقص بعنصر الـ K كما في حالة اشجار الفاكهة في نهاية الصيف او صقيع الخريف .

والجفاف قد يسبب لونا أرجوانيا محمرا مثل النقص بعنصري الـ N و P واحيانا يظهر لون اخضر مزرق مثل السمية بالـ N او جفاف حواف الاوراق مثل النقص بعنصر الـ K .

كما ان الرياح تؤدي الى جفاف حواف الاوراق كما في حالة النقص بعنصر الـ K .

ب) عوامل عائدة للتربة نفسها

حيث أن الظروف الغذائية تؤدي الى ظهور ألوان صفراء وحمراء أو أرجوانية كما في حالة نقص الـ N و P أو الى احتراق حواف الاوراق كما في حالة نقص عنصر البوتاسيوم أو الى حدوث اصفرار شبيه بالنقص بالـ Fe و Mn . كما ان نقص رطوبة التربة يؤدي الى اعراض شبيهة بأعراض الجفاف التي سبق ذكرها . إن وجود طبقة صماء أو انخفاض محتوى التربة من المادة العضوية تؤدي الى تكوين لون أرجواني محمر كما في حالة النقص بعنصري الـ N و P . أو الى احتراق حواف الاوراق كما في حالة نقص الـ K . كذلك فإن الادغال تسبب اصفراراً أو احمراراً للاوراق كما في حالة النقص بعنصر الـ N .

ج) أضرار الحشرات

إن إصابة البطاطا بالنياتودا تؤدي الى اصفرارها كما في حالة نقص عنصر الـ N . في حين أن إصابة الطماطة بها يؤدي الى تلون النبات بلون أرجواني شبيه بنقص الـ N أيضاً .

كما أن الإصابة بحشرات سوس الحبوب (Weevils-Coleoptera) أو أنواع من الذباب (Midge-Diptera) والتي تصيب منطقة التاج والاوراق حيث تؤدي الى تشوه شكل الاوراق وظهور نموات جديدة توحى للمرء بأنها تعاني من النقص بعنصر المولبدنم أو النقص بعنصر البورون . وبالمثل فإن العنكبوت الاحمر والذي يكون تراكيب برونزية الشكل يخلق التباساً في عملية تشخيص نقص العناصر الغذائية .

د) الإصابة بالفطريات والبكتريا

ينشأ نتيجة إصابة النباتات بها تنخر شريطي يشبه مرض التبغ الرمادي (Grey speck disease) على الشوفان المتسبب عن النقص بعنصر المنغنيز . والامراض التي تسببها على جذور النباتات أو عند منطقة اتصال الجذر بالساق والتي تؤدي الى ظهور اصفرار مع احتراق وجفاف حواف الاوراق ينشأ عنها أعراضاً شبيهة بنقص عنصر البوتاسيوم . كما ان إصابة البطاطة بفطر الرايزوكتونيا (Rhizoctonia) والتي تؤدي الى موت جذور البطاطة مما ينتج عنه التفاف الاوراق في قمة النبات بحيث تشبه في مظهرها اعراض النقص بعنصر الكالسيوم .

هـ) الإصابة بالامراض الفيروسية

إن إصابة النباتات بالـ (Yellow virus) يؤدي الى حدوث اصفرار وتنخر موضعي للخلايا تشبه أعراض نقص المغنيسيوم كما في حالة نبات البنجر السكري أو تشبه أعراض نقص البوتاسيوم بالنسبة لنبات البطاطا .

(و) الإصابة الميكانيكية في الحقل والجروح وأضرار أخرى مثل الحالب حيث يسبب ذلك أضراراً على قلف الأشجار وظهور ألوان صفراء أو حمراء أو أرجوانية شبيهة بأعراض نقص عناصر الـ Mg و K و Ca و N .

كما أن أضرار المعاملة برش المبيدات على النباتات تؤدي في كثير من الحالات إلى نشوء اللون صفراء أو بنية على حواف الأوراق توحى بأنها تعاني من النقص بأحد عناصر الـ Mg و K و Ca و N .

كما أن الأخطاء الناتجة من عملية إضافة الاسمدة قد تؤدي إلى ظهور اللون على قمة وحواف الأوراق تشبه في مظهرها أعراض النقص بعنصر البوتاسيوم .

(ز) تأثيرات ناتجة عن السمية بالعناصر الغذائية

إن إصابة النباتات بالسمية بعنصر المنغنيز غالباً ما تؤدي إلى معاناة النباتات من النقص بعنصر الحديد . وما يزيد المشكلة هو أن أعراض السمية والنقص بالمنغنيز غالباً ما تكون متشابهة لدرجة يصعب معها التمييز بينهما لذا ينصح بقياس الـ pH للتربة حيث أن السمية بهذا العنصر تظهر غالباً تحت الظروف الحامضية . كما أن زيادة إضافة الاسمدة النتروجينية أو الفوسفاتية قد تسبب النقص بعنصر البوتاسيوم . والسمية بالبورون تؤدي إلى ظهور أعراض شبيهة بنقص عنصري البوتاسيوم والمغنيسيوم .

(ح) استخدام الهرمونات

لوحظ أن استخدام الاثيلين قد سبب التفافاً للأوراق كما في حالة النقص بعنصر الكالسيوم . وإن استخدام مادة السايكوسيل (Cycocel) والتي هي عبارة عن مادة الـ ChlonCholine Chloride (CCC) والتي تقلل من إنتاج حامض الجبريليك (Gibberellic acid) وبالتالي تؤدي إلى قصر السلاسل الأمر الذي قد يسبب التباساً في عملية التشخيص فقد يعزى ذلك إلى النقص بعنصر الزنك أو إلى النقص بعنصر البورون أحياناً .

(ط) إن ظهور أعراض نقص العنصر الغذائي بمظاهر مختلفة باختلاف النباتات وكذلك باختلاف العضو النباتي يعقد من عملية تشخيص نقص العناصر الغذائية .

(ي) قد يظهر على النبات في آن واحد النقص بأكثر من عنصر غذائي .

وعموماً فان النقص بأزواج العناصر التالية غالباً ما يكون شائعاً مثل (Fe, Mo) و (Fe, Mn) و (Fe, Zn) و (Mo, B) و (N, P) وأخيراً (K, Mg) .

كما تقدم يتبين لنا ان عملية التشخيص هي عملية معقدة وينصح بالاستعانة باجراء تحاليل لعينات التربة وللنماذج النباتية مع الاخذ بنظر الاعتبار نوع النبات وعمره والعضو النباتي. كما يجب فحص النبات بالكامل وكذلك فحص الخواص الفيزيائية للتربة والقاء نظرة فاحصة على الحقل للتأكد من تجانس عمليات التسوية وعدم وجود مناطق منخفضة غارقة أو مناطق مرتفعة قد تكون معرضة للجفاف ومحاولة التأكد من عدم حدوث اخطاء في عمليات التسميد أو الرش بها او الرش بالمبيدات او استخدام الهرمونات الخ .

$$\text{كما يفضل قياس القيمة} = \frac{\text{كمية العنصر في الاوراق القديمة}}{\text{كمية العنصر في الاوراق الحديثة}}$$

لأن ذلك يعطينا فكرة عن مدى تحرك العنصر بداخل النبات فاذا كانت القيمة أكبر من واحد فهذا يدل على تجمع العنصر وبطء أو عدم انتقاله الى الاجزاء العليا من النبات وهذا يعني انه في حالة وجود نقص للعنصر في التربة فإن أعراض نقصه على النبات تبدأ في الظهور أولاً على الاوراق الحديثة . مثل النقص بعناصر الحديد والبورون والكالسيوم والنحاس والكبريت .

وعلى العكس اذا كانت القيمة أصغر من واحد فهذا يدل على تجمع العنصر في الاوراق العلوية الحديثة التكوين والذي يعني التحرك الجيد والسريع للعنصر بداخل النبات وانتقاله من الاوراق القديمة الى الاوراق الحديثة وعليه في حالة وجود نقص للعنصر في بيئة النمو فتظهر أعراض نقصه أولاً على الجزء السفلي أي الاوراق القديمة من النبات مثل النقص بعناصر النتروجين وألفسفور والبوتاسيوم .



تأثير العوامل الوراثية والبيئية على تغذية النبات

1.9 - تأثير العوامل الوراثية على تغذية النبات

من المعروف ان العوامل الوراثية في النبات تسيطر على جميع الفعاليات الفسيولوجية فيه ومن ضمن هذه الفعاليات امتصاص وانتقال واستغلال المغذيات المعدنية . وفي الوقت الذي توجد بعض الدراسات التي تشير الى وجود طفرات وراثية في جينات مفردة تؤدي الى حالات معينة من الاختلال في التغذية المعدنية للنباتات ، فإن هناك عدداً كبيراً من الدراسات التي تبين أن التأثيرات الوراثية في تغذية النبات تكون كمية أي انها ناتجة عن تأثير عدد من الجينات في كل حالة .

ومن الدراسات الاولى التي بينت ان عاملاً وراثياً معيناً يسيطر على صفة معينة في تغذية النبات هي الدراسة التي قام بها Weiss (1943) على الاصفرار الناتج عن نقص الحديد في بعض اصناف فول الصويا حيث تبين ان هذا النقص الغذائي سببه زوج واحد من الاكليات أي ان الاصفرار يظهر عند وجود الاليل المتنحي بصورة نقية في النبات وقد بينت دراسة لاحقة من قبل Brown و Holmes و Tiffin (1958) ان التأثير المؤدي الى هذا النقص هو عدم قابلية النباتات التي تفتقد الجين السائد على اختزال الحديد الى حديدوز في الجذور وبالتالي عدم قابليتها على نقل الحديد من الجذور الى الاجزاء العليا من النبات .

كما بينت دراسة من قبل Pope و Munger (1953a) ان حساسية نبات الكرفس لنقص المغنيسيوم سببها جين واحد يؤدي الى الحالة الطبيعية عندما يكون موجوداً بالحالة السائدة ويؤدي الى ظهور اصفرار ناتج عن نقص المغنيسيوم في الحالة المتنحية ويبدو أن الخلل في تجهيز المغنيسيوم يوجد في الجذور او السيقان وذلك لامكانية التغلب عليه برش أوراق النباتات بمحاليل المغنيسيوم وليس بمعاملة

التربة . كما بينت دراسة أخرى لـ Pope و Munger (1953b) ان حساسية احدى سلالات الكرفس لنقص البورون سببها زوج واحد من الاليلات المتنحية لجين واحد .

كذلك بينت دراستان من قبل Bell و Bogorad و McIlrath (1958) و (1962) ان الاصفرار المخطط الذي يحصل في اوراق الذرة الصفراء والذي وصفه Beadle (1929) كطفرة وراثية متنحية يكون سببه مشابهاً لنقص الحديد في فول الصويا المتسبب عن عدم اختزال الحديد الى حديدوز في الجذور .

أما دراسة Wall و Andrus (1962) عن الطفرة الوراثية التي تسبب مرض الساق الهش في الطماطة فقد بينت ان الجين المتنحي يسبب نقص البورون في الاوراق نتيجة عدم انتقال البورون الممتص من قبل الجذور الى الاجزاء العليا من النبات .

وهناك حالات اخرى لها علاقة بميتابولزم العناصر الغذائية في النبات تسيطر عليها جينات مفردة فقد لاحظ Bernard و Howell (1964) ان معظم اصناف فول الصويا تنمو بصورة جيدة في المحاليل الغذائية حتى بوجود تراكيز عالية من الفوسفات في المحلول (بضعة مليمولات لكل لتر) ولكن بعض الاصناف كانت حساسة لهذه التراكيز العالية من الفوسفات وظهرت عليها بقع وأصفرار في الاوراق وتوقف نموها وقد تبين نتيجة التهجين بين الاصناف المقاومة والحساسة ان هذه الصفة يسيطر عليها زوج من الاليلات لجين واحد . وفي دراسة اخرى أجراها Abel (1969) حول مقاومة بعض اصناف فول الصويا للملوحة تبين ان جذور الاصناف المقاومة وكذلك الاصناف الحساسة تمتص أيونات الكلوريد ولكن في الاصناف المقاومة للملوحة تنتقل كمية قليلة من هذه الايونات الى الاوراق بينما في الاصناف الحساسة للملوحة تنتقل كمية كبيرة من الكلوريد مسببة تنخر الاوراق وبالتالي موت النباتات وكانت صفة المقاومة هي الصفة 'المتغلبة' وصفة الحساسية هي الصفة المتنحية .

وقام Shea وزملاؤه (1967, 1968) باجراء بحثين حول السيطرة الوراثية على كفاءة سلالات من نبات الفاصوليا على استغلال البوتاسيوم وفي الوقت الذي لم تختلف فيه السلالات الكفوة وغير الكفوة في امتصاص ونقل البوتاسيوم فان الفرق كان في كفاءة الاستفادة من هذا العنصر حيث لم تظهر أعراض نقص البوتاسيوم في السلالات الكفوة عندما كانت نسبة البوتاسيوم في الاجزاء العليا

من النبات 0.5% الى 1% بينما ظهرت اعراض نقص البوتاسيوم في السلالات غير الكفوءة ، وقد تبين ان السلالات الكفوءة كانت نقية وراثياً لزوج من الاليلات المتنحية .

أما بالنسبة لمستوى أنزيم اختزال النترات (Nitrate Reductase) في السلالات النقية من الذرة الصفراء فقد تبين انها تحت سيطرة أثنين من الجينات كما بين ذلك Warner وزملاؤه (1969) ، وربما تكون هناك حالات أخرى مشابهة تحت سيطرة جينات متعددة ، وكذلك تدل دراسات أخرى على وجود فروقات وراثية كمية بين أصناف نباتات الحاصل بالنسبة لامتناس وانتقال واستغلال العناصر الغذائية أو مقاومتها لتراكيز عالية من العناصر المعدنية (Epstein, 1972).

وعندما نحلل نباتات من أصناف مختلفة لنفس النوع مزروعة تحت ظروف متشابهة في نفس التربة بالنسبة لمحتواها من العناصر الغذائية والمعدنية نجد عادة فروقا كبيرة بينها ، ولاتدل هذه الفروق بالضرورة على ان الصنف الذي توجد فيه كميات كبيرة من عنصر غذائي معين في أوراقه يمتلك نظاماً أكثر كفاءة لامتناس ونقل ذلك العنصر وانما قد يعني ان النظام الجذري لهذا الصنف يكون أكبر وذو تفرعات أدق وبالتالي يتمكن من التغلغل في التربة بكفاءة أكبر .

ومع ذلك فان هناك حالات عديدة تدل على ان الفروق بين الاصناف في أخذها للعناصر الغذائية تعكس فروقا مسيطر عليها وراثياً في ميكانيكية التغذية المعدنية وخاصة بالنسبة لامتناس وانتقال عنصر معين حيث انه من المتوقع أن تؤدي الفروق الكمية في مورفولوجي الجذور الى فروقات متوازية في أخذ جميع أو بعض العناصر . ولكن عندما يختلف صنفان كثيراً بالنسبة لامتناس عناصر معينة وليس بالنسبة لعناصر أخرى فان ذلك يقودنا الى افتراض ان الفروق تعود الى ميكانيكية التغذية المعدنية المسيطر عليها وراثياً . واذا كانت الفروق كمية فهناك احتمال بان العملية تكون تحت سيطرة عدد من الجينات . وقد ذكر Epstein (1972) كثيراً من الأمثلة على هذه الفروق بين الأصناف بالنسبة للتغذية المعدنية لكثير من النباتات الاقتصادية . وكذلك ذكر عدد من الأمثلة عن تأثير الاصول التي تستعمل لتطعيم أشجار الفاكهة على التغذية المعدنية للطعوم حيث تظهر فروقات كبيرة عادة بسبب ذلك .

ان الدراسات التي ذكرت أعلاه تدل على ان التراكيب الوراثية ضمن النوع يمكن أن تختلف كثيراً في نواحي مختلفة من التغذية المعدنية مثل سرعة امتناس

وانتقال عناصر معينة ، كفاءة الاستغلال الميتابوليكي ، المقاومة لتراكيز عالية من العنصر في وسط النمو وصفات أخرى . وعلى هذا الأساس هناك مجالات كثيرة في مجال التربية والتحسين الوراثي للنباتات في المسائل التي تتعلق بموضوع تغذية النبات .

2.9 - تأثير العوامل البيئية على تغذية النبات

أن عوامل البيئة المؤثرة على النبات تشمل الجوانب الفيزيائية والكيميائية كدرجة الحرارة والضوء والرياح والماء والعناصر الغذائية وكذلك الكائنات الحية الأخرى من نفس النوع أو من الأنواع الأخرى الموجودة في نفس البيئة (Epstein, 1972). وبنفس الوقت الذي تؤثر فيه كل من هذه العوامل على النبات ، فإن النبات وكل من هذه العوامل يؤثر على العوامل الأخرى بصورة متبادلة . وبذلك تصبح تغذية النبات من العوامل المتأثرة وكذلك المؤثرة في محيط النبات كما يتبين من الدراسات المتوفرة في المصادر .

1.2.9 - الترب الكلسية وتأثير موقع النبات :

أشارت الدراسات السابقة الى الدور الحرج الذي يلعبه الكالسيوم في العلاقة بين الجذور ووسط نموها ومن المعروف ان الترب المشتقة من حجر الكلس (الغني بكاربونات الكالسيوم) تكون ذات رقم هيدروجيني عالي وتنمو فيها نباتات تختلف تماماً عن النباتات الموجودة في الترب الحامضية الفقيرة بالكالسيوم . وفي دراسة عن أهمية تركيز الكالسيوم في التربة على نمو النفل الأبيض (Snaydon, 1962, *Trifolium repens*) تبين وجود علاقة قوية بين تركيز الكالسيوم ونمو النبات في كل عشرة سنتمترات مربعة من تربة التجربة التي كانت مساحتها عشرة مترات مربعة فقط مما يدل على التأثير الهام لموقع النبات على تغذيته .

2.2.9 - الملوحة في التربة وتغذية النبات :

ان ملوحة التربة بالإضافة الى تأثيرها الأزموزي في تقليل توفر الماء للنبات يرافقها وجود تراكيز عالية وربما سامة من الايونات في محيط النبات . وبالرغم من ان الصوديوم والكلوريد هما في الاغلب الايونين ذوى السمية المحتملة في الترب الملحية فان ايونات أخرى قد توجد في هذه الترب ويكون لها غالباً تأثيرات هامة في بيئة هذه المناطق مثل أيونات الكبريتات ، البيكاربونات ، البورات ، الليثيوم ، وغيرها (Epstein, 1972).. وبالتالي فان وجود هذه الايونات يؤثر أيضاً على حصول النبات على العناصر الغذائية كما ان هناك تفاوتاً بين أنواع وأصناف

وسلالات النباتات بالنسبة لمقاومتها للتراكيز العالية من الاملاح في وسط النمو (Rorison, 1969) ولذلك هناك مجالاً واسعاً لزيادة مقاومة النباتات للاملاح بواسطة طرق التربية والتحسين الوراثية .

3.2.9 - نقص العناصر في البيئات الطبيعية :

تدل الدراسات في كثير من مناطق العالم على أن نقص العناصر المعدنية يحصل في النباتات النامية بصورة طبيعية في بيئات متعددة مثل الغابات والمراعي الطبيعية وغيرها فقد وجد Martin و Berry (1970) في كاليفورنيا أن استعمال الاسمدة النتروجينية والفوسفاتية للمراعي الطبيعية قد أدى الى زيادة نمو نباتات المراعي الى ثلاثة أضعاف .

وبالنظر لاختلاف النباتات النامية في بيئة معينة في قابليتها على امتصاص العناصر المعدنية وكذلك في كفاءتها في الاستفادة من العناصر الممتصة ، فإن هذين العاملين يلعبان دوراً في تنافس النباتات فيما بينها وبقاء النباتات المتكيفة فقط للظروف السائدة في هذه البيئة (Epstein, 1972) .

4.2.9 - التأثير المتبادل بين النباتات وبيئتها بالنسبة للتغذية المعدنية :

يتأثر النبات بالنواحي الكيميائية لفعالياته الفسيولوجية وكذلك فعاليات النباتات الأخرى المجاورة (وهذه التأثيرات الأخيرة تشمل التنافس التثبيطي للأحياء Allelopathy) . فالنبات يجب أن يستمر بالنمو في التربة التي يمتص منها الفوسفات ، النترات ، والعناصر الغذائية الأخرى ، والتي يضيف إليها أيضاً الافرازات من جذوره ، والمغسولة من أوراقه ، وأخيراً الأوراق نفسها عندما تسقط . ولذلك هناك تأثير كيميائي متبادل (أو قوي بين النبات ووسط نموه) .

وتكون العمليات المؤثرة على التربة نتيجة اضافة المادة العضوية من قبل النبات متعددة وتشمل تغير الرقم الهيدروجيني لحلول التربة ، التثبيت الخلي للمعادن الثقيلة ، زيادة نشاط الأحياء الدقيقة وبالتالي تحرير ثاني أكسيد الكربون الذي يزيد من تجوية معادن التربة ، وكذلك التأثيرات المهمة على الحالة الفيزيائية وقابلية مسك الماء من قبل التربة . يمكن أن تكون المواد العضوية المضافة بقايا نباتية صلبة ، مواد مختلفة ذائبة ، أو نواتج التحلل .

أما الحيوانات فأنها معتمدة على النباتات في غذائها بصورة مباشرة أو غير مباشرة وتؤثر على كيمياء التربة عن طريق الفضلات أو نواتج التحلل بعد الموت . وهذه التأثيرات للمادة العضوية تجعل العناصر الغذائية أكثر حركة ومتوفرة للامتصاص من قبل النبات وبنفس الوقت يزداد فقدها بالغسل .

تسبب ازالة المغذيات والعناصر المعدنية الأخرى للتربة من قبل النباتات تغيرات مهمة في كيمياء التربة . وبالرغم من أن جزءاً لا بأس به من هذه العناصر يعود الى التربة في نفس الموقع ، فإن جزءاً آخر يفقد من ذلك الموقع بطرق مختلفة خلال حياة النبات أو بعد موته . وبذلك تكون النباتات عاملاً مهماً في دوران العناصر الغذائية في البيئة (Rodin و Bazilevich, 1967) .

Glossary

دليل المصطلحات

A)

Abscission	فصل جزء من النبات الكلي مثل تساقط الاوراق في الخريف
Absorption	امتصاص المغذيات
Accumulation	تجمع
Active absorption	الامتصاص الحيوي (النشط او الفعال)
Active sites	المواقع الفعالة على الانزيمات
Adsorption	الامتصاص
Aerobic	هوائية
Against concentration gradient	ضد المحرار التركيز
Aggregate culture	مزرعة الوسط الصلب الحبيبي
Aggregate structure	البناء الحبيبي
Alkaloides	القلويدات
Allelopathy	التنافس التثبيطي في الاحياء
Aminization	عملية تكوين الاحاض الامينية
Ammonification	عملية تكوين الامونيا
Anaerobic	لاهوائية
Antagonism	التضاد
Antibiotics	مضادات حيوية
Antitranspirants	مضادات النتح
Apoenzyme	بروتين الانزيم
Apoplast pathway	دخول المغذيات والماء عن طريق الفراغ الحر
Application	اضافة الاسمدة
Atmosphere	المحيط او الغلاف الجوي او وحدة الضغط الجوي
Atmospheric nitrogen fixation	تثبيت النتروجين الجوي
Autotrophic	ذاتية التغذية
Available	جاهز للامتصاص بواسطة جذور النبات
Availability	جاهزية العناصر المعدنية للامتصاص

B)

Band dressing	اضافة السماد بطريقة التلقيح في جور او حفر
Binding sites	مواقع ربط المادة المتفاعلة على الانزيم
Biosphere	المحيط الحيوي
Biological factor	العامل البيولوجي
Biological nitrogen fixation	تثبيت النيتروجين الجوي بيولوجيا
Blackening	ظاهرة اسوداد درنات البطاطا المتسببة عن نقص عنصر البوتاسيوم .
Blotchy ripening	نضج غير متجانس أو عدم النضج في وقت واحد
Borax	مادة البوراكس وهي عبارة عن بورات الصوديوم $(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O)$ والتي تحتوي على 11.36% بورون .
Bordeaux	خليط بوردو وهو عبارة عن خليط من كبريتات النحاس المائية المعروفة بالحجر الازرق مع الحجر الجيري .

Broad cast	اضافة السماد بطريقة النثر
Buffer	محلول منظم للـ (pH)
Buffering capacity	السعة أو القدرة التنظيمية
Beneficial elements	العناصر المفيدة أو النافعة

C)

Capillary	الخاصية الشعرية
Carboxylation	تمثيل غاز CO_2 في عملية التركيب الضوئي
Charge separation	فصل الشحنات
Carriers	المركبات أو المواد الناقلة أو الحاملة للمغذيات
Cation exchange capacity	سعة التبادل الكاتيوني
Cell potential	جهد الخلية
Chelate compounds	المواد أو المركبات الخلبية
Chemical potential	الجهد الكيميائي
Chemical weathering	التجوية الكيميائية
Chemiosmotic theory	نظرية النفوذ أو التناضح الكيميائي
Chernozem	تربة الشيرنوزيم السوداء
Chloroplast	البلاستيدة الخضراء
Chlorine choline chloride	كلوركولين كلورايد وتعرف أيضا بمادة الـ CCC ويطلق عليها تجاريا بمادة السايكوسيل Cycocel .

Coenzymes	العوامل المساعدة للإنزيمات
Compost	الاسمدة العضوية المخمرة (الدّمن)
Contact exchange	التبادل بالتّماس
Cortex	القشرة
Crude protein	البروتين الخام
Cycocel	السايكوسيل وهي عبارة عن مادة الـ CCC اي الكلوركولين كلورايد

D)

Decarboxylation	عملية فصل غاز CO_2 من المركبات العضوية
Dehydrogenation	فصل الهيدروجين
Denaturation	فقدان طبيعة البروتين الاصلية
Denitrification	عملية نزع النتروجين من النترات والذي يفقد ويتطاير الى الهواء الجوي على شكل غاز N_2

Depletion

سحب وتطلق عادة على سحب الايونات من الجذر نتيجة لتبادلها مع أيونات الهيدروجين وهي عملية ضارة بالنسبة للنبات حيث أنها تمثل سحب للايونات والتي سبق وان قام النبات بامتصاصها .

Dieback

الموت التراجعي

Differentiation

تتميز الخلايا حسب وظيفتها

Differentially permeable membrane

غشاء متميز النفاذية

Diffusion

الانتشار

Diffusion theory

نظرية الانتشار

Diffusion pressure deficit

عجز الضغط الانتشاري

Distribution coefficient (DC)

معامل التوزيع

Donnan equilibrium

توازن دونان

Downhill

انتقال المغذيات ونواتج التمثيل للأسفل

Dry matter

المادة الجافة للنبات

E)

Ecosphere

البيئة

Efficiency coefficient

معامل الاستفادة

Efficiency index	دليل الاستفادة
Efflux	مقدار ما يخرج من العنصر الغذائي المتص من المحلول الداخلي للنبات الى المحلول الخارجي (محلول التربة) .
Electrical double layer	الطبقة الكهربائية المزدوجة
Electrical potential	الجهد الكهربائي
Electrical discharge	تفريغ كهربائي يتولد عنه شرارة كهربائية في الجو
Electrochemical potential	الجهد الكهروكيميائي
Electrochemical potential gradient	الانحدار في الجهد الكهروكيميائي
Emission	إطلاق الإلكترونات
Endodermis	القشرة الداخلية
Enlargement	تمدد وتوسع الخلية او استطالتها
Environmental factors	العوامل البيئية
Equilibrium	توازن او اتزان
Erosion	التعرية
Essential amino acids	الاحماض الامينية الاساسية
Essential elements	العناصر الغذائية الضرورية للنبات
Exchange materials	مواد التبادل
Exchangeable processes	عمليات التبادل
Exanthema	مرض نقص النحاس على الحمضيات

F)

facilitated diffusion	انتشار الميسر
Field oscillation	حقل التذبذب للأيونات
Foliar application	التسميد الورقي بالرش
Free energy	الطاقة الحرة
Free living bacteria	البكتريا الحرة المعيشة
Free space	الفراغ الحر
Fresh weight	الوزن الطري
Fungicides	مبيدات الفطريات

G)

Genetic factors	العوامل الوراثية
Glycolysis	الكلايكوليسس هي عملية التحلل السكري اللاهوائي

Glycoprotein	بروتين سكري
Grass tetany	كزاز الحشيش على الحيوانات
Gravel cultures	مزارع الحصى
Gravity	الجاذبية الارضية
Ground respiration	التنفس العام

Growth period	فترة النمو
Gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية)

H)

Herbicides	مبيدات الحشائش أو الادغال
Heterotrophic	غير ذاتية التغذية
Hoagland Solution	محلول هوكلاند (المحلول الغذائي للعالم هوكلاند)
Host plant	النبات العائل
Humus	الدبال
Humus theory	النظرية الدبالية
Hyphae	هيفا الفطر وجمعها هيفات
Hydration water	ماء التميؤ (الماء المحيط بأيون العنصر المعدني)
Hydrolysis	التحلل المائي
Hydrogen bond	آصرة هيدروجينية
Hydrophilic	المحبة للماء
	(وهي عكس الـ Hydrophobic الكارهة للماء).
Hydrosphere	المحيط المائي
Imbibition	التشرب
Influx	مقدار مايمتص من العنصر الغذائي في داخل الخلايا
Inner solution	المحلول الداخلي
Intensity	الشدة (وهي تعبير عن تركيز العنصر)
Interaction	المنافسة بين الايونات اثناء امتصاصها من قبل النبات
Insecticides	مبيدات الحشرات
Ion pump	مضخة الايونات
Iron Sesquiterpene 330	الحديد الخليلي
Irreversible	غير متعاكس
Isomorphous replacement	الاحلال المتماثل

J)

Juvenile stage

مرحلة الشباب او الصبا

K)

Kinetic driving forces

قوى الطاقة الحركية

Krebs cycle

دورة كريبس

L)

Lachrymatory

التدمع أو الطعم الحريف للثوم والبصل والكراث وغيرها
بسبب محتواها من الزيوت الطيارة .

Laterite

تربة اللاتريت القرميدية ذات النسجة الخشنة

Law of minimum

قانون العامل المحدد

Law of the limiting factor

قانون العامل المحدد

Law of optimum

قانون الحدود المثلى

Law of diminishing returns

قانون الغلة المتناقصة

Leaching

الغسل

Liebig patent manure

سماد لينبيك الاصطناعي

Lime

الحجر الجيري او كربونات الكالسيوم

Lime-stone chloresis

شجوب الكلوروفيل الكلسي

Lithosphere

الطبقة السطحية من قشرة الارض

Litmus paper

ورقة عباد الشمس

Lodging

عملية رقاد أو اضطجاع النبات

M)

Macronutrients

العناصر الغذائية الكبرى

Mass flow

التدفق أو الجريان أو الانسياب أو السريان الكتلي

Matric forces

القوى المرتبطة بالسطوح الصلبة والسائلة
الغشاء

Membrane

نفاذية الغشاء

Membrane permeability

النسيج الاوسط أو المتوسط للورقة

Mesophyll

الاقطاب الكهربائية الدقيقة

Microelectrodes

العناصر الغذائية الصغرى

Micronutrients

Middle lamella
Mineralization

الصفحة الوسطى من الجدار الخلوي
عملية المعدنة أو التعدين

N)

Natural clay mineral
Necrosis

معدن الطين الطبيعي
النخر أو الموت الموضعي للخلايا

Nitrate reduction

اختزال النترات

Nutrients

المغذيات

Nutrient availability

جاهزية المغذي

Nutrient content

محتوى المغذي في النبات

Nutrient solution

المحلول المغذي

Nitrification

عملية النترة (الترجة أو التآزت)

Nitrogen fixation

تثبيت النتروجين

Non available

غير جاهز للامتصاص

Non selective

غير اختياري

Nucleotides

النكليوتيدات (قاعدة عضوية نتروجينية + سكر
خاسي + الفوسفات)

O)

Organic matter

المادة العضوية

Osmosis

التناضح أو الازموزية

Osmotic pressure

الضغط الازموزي

Outer solution

المحلول الخارجي (محلول التربة)

Outer space

الفراغ الخارجي ويقصد به الفراغ الحر

Oxidative phosphorylation

الفسفرة التأكسدية

P)

Panicles

العناقيد

Parent material

مادة الاصل للتربة

Passive absorption

الامتصاص السلبي للمغذيات

Percentage sufficiency concept

النسبة المئوية للكفاية

Phloem

اللحاء

Phosphatide cycle	دورة الفوسفاتيد
Phosphorylation	عملية الفسفرة (مثل تكون الـ ATP)
Photophosphorylation	عملية الفسفرة الضوئية
Photosynthesis	عملية التمثيل أو التركيب الضوئي
Physical weathering	التجوية الفيزيائية
Plant nutrition	تغذية النبات
Plant requirements	متطلبات أو احتياجات النبات (من المغذيات)
Plasmalemma	غشاء البلازما أو البلازما
Podzol	تربة البندول الرمادية
Polymerization	عملية البلمرة (مثل بلمرة السكر)
Profile	مقد التربة
Prosthetic groups	العوامل أو المجموعات المرافقة للإنزيمات (المرتبطة)
Proteolysis	تحلل المواد العضوية النتروجينية إلى أحماض أمينية
Purely physical systems	النظام الفيزيائي الصرف

Q)

Quantity

الكمية الكلية من العنصر الغذائي في التربة

R)

Rate of absorption

Redox potential

Relative content

Reversible

Rigidity

Rhizobium bacteria بكتريا الرايزوبيوم التي تعيش على جذور النباتات البقولية

Rhizosphere المحيط الجذري وهي المنطقة المحيطة والقريبة من المجموعة الجذرية

معدل الامتصاص

الجهود التأكسدية الاختزالي

المحتوى النسبي من المغذيات في النبات

متعكس

صلابة الخلايا

S)

Salt or Anion Respiration

Sand culture

Selective

Selectivity

Senescence

التنفس الملحي أو الأنيوني

المزرعة الرملية

اختياري

اختيارية

مرحلة الشيخوخة أو هرم النبات

Sesquioxides	الأكاسيد النصف ثلاثية
Silica gel	السليكا الهلامية (وهي موجودة على شكل $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)
Simple diffusion	الانتشار البسيط
Sink	مصرف أو مستقبل
Soil solution	المحلول الأرضي (محلول التربة)
Soil microorganisms	أحياء التربة الدقيقة أو المجهرية
Soil phase	الطور الصلب
Solubility coefficient	معامل أو حاصل الذابة
Soluble minerals	المعادن الذائبة
Soluble salt minerals	أملاح المعادن الذائبة
Solution culture	المزرعة الغذائية في المحلول
Solutes	المواد الصلبة الذائبة في المحلول
Specificity	التخصص
Stock solution	محلول التجهيز أو التحضير مثل محلول هوكلاند
Structure	بناء التربة
Subirrigation	الري الجوفي
Suppression	إيقاف أو منع
Surface tension	التوتر أو الشد السطحي
Suction pressure	ضغط المص وكان يستخدم سابقاً للتعبير عن جهد الخلية والذي يمثل أيضاً عجز ضغط الانتشار DPD (diffusion pressure deficit)
Symbiosis	تعايش أو تكافل
Symbiotic bacteria	البكتريا التعايشية أو التكافلية
Synthetic resins	مواد الراتنج المصنعة
T)	
Tangent	ظل الزاوية
Tasseling	طور الأزهار أو التزهير
Texture	نسجة التربة
Topography	الطبوغرافيا (الارتفاعات والانخفاضات)
Trace elements	العناصر الأثرية
Transpiration	النتح

Transpiration coefficient

معامل النتح

U)

Uphill transport

انتقال المغذيات والماء الى الاعلى

V)

Vesicles

الحويصلات

Virgin

التربة البكر التي تزرع لأول مرة

W)

Water logged soil

التربة الغدقة

Water potential

الجهد المائي

Water culture

المزرعة المائية

Weathering

التجوية

X)

Xylem

الخشب

المراجع :

الفصل الاول

- 1- Bergmann, W. 1983. Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag Jena, DDR.
- 2- Bodenheimer, F.S. 1958. The history of biology. An introduction. Wm. Dawson and Sons, Ltd., London.
- 3- Bowen, H.J.M. 1966. Trace elements in Biochemistry. Academic Press, London and New York.
- 4- Collander, R. 1941. Selective absorption of cations by higher plants. *Plant. Physiol.* 16: 691-720.
- 5- Drake, M. and J.M. White 1961. Influence of nitrogen on the uptake of calcium. *Soil Sci.* 91: 66-69.
- 6- Epstein, E. 1971. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley and sons, Inc. New York. London. Sydney. Toronto.
- 7- Evans, H.J. and sorger, G.J. 1966. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 17: 47-77.
- 8- Gabriel, M.L. and S. Fogel 1955. Great experiments in biology. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- 9- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. Mc-Graw-Hill Book Company, Inc., New York and London.
- 10- Mclean, E.O., Adams, D. and Franklin, R.E. 1956. Cation exchange capacities of plant roots as related to their nitrogen contents. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20: 345-347.
- 11- Russel, E.J. 1961. Soil conditions and plant growth. 9th ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 12- Scharrer, K. and K. Mengel 1960. Aufnahme and Verteilung der Kationen Ca, Mg, K and Na in der Pflanze bei variierter K- und Mg-Düngung sowie bei extraradikaler K-Versorgung. *Plant and Soil* 12:377.
- 13- Schreiber, R. 1949. Effect of magnesium on the yield and the nutrient uptake of K_2O and MgO by cereals. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.* 48, 37-64.
- 14- Smith, P.F. 1962, Mineral analysis of plant tissues. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13:81-108.

- 15- Wilson, P.W. 1957. On the sources of nitrogen of vegetation; etc. Bact. Rev. 21: 215-226.

الفصلين الثاني والثالث

- 1- Acevedo, E., J.H.C. Hsiao and D.W. Henderson 1971 Immediate and subsequent growth response of maize to changes water status. Plant physiol. 48: 631-636.
- 2- Asher, C.J. and P.G. Ozanne 1967. Growth and potassium content of plants in solution cultures maintained at constant potassium concentrations. Soil Sci. 103: 155-161.
- 3- Asher, C.J., P.G. Ozanne and J.F. Loneragan 1965. A method for controlling the ionic environment of plant roots. Soil Sci. 100: 149-156.
- 4- Barber, D.A. 1968. Microorganisms and the inorganic nutrition of higher plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 19: 71-88.
- 5- Bardzik, J.M., H.V. jr. Marsh and J.R. Havis 1971. Effects of water stress on the activities of three enzymes in maize seedlings. Plant Physiol. 47: 828-831.
- 6- Beardsell, M.F. and D. Cohen 1975. Relationship between leaf water status, abscisic acid levels, stomatal resistance in maize and sorghum. Plant Physiol. 56: 207-212.
- 7- Bell, O.T. and R.H. Hageman 1971. The role of Light in nitrate metabolism in higher plants, p. 85-113. In: Photophysiology. Vol. VII. Ed. A.C. Giese, Academic Press. London. 1972.
- 8- Bergerson, F.J. and E.H. Hipsley 1970 Presence of nitrogen fixing bacteria in intestines of man and animals. J. Microbiol. 60: 61-65.
- 9- Bonner and Galson 1952 Principles of Plant physiology. in: J. Janick. R.W. Schery, E.W. Woods, and N.W. Ruttan (1969) Plant Science Free man Co. San Fransico.
- 10- Boyer, J.S. 1968. Relationship of water potenial to growth of leaves. Plant physiol. 43: 1056-1062.
- 11- Boyer, J.S. 1970. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean and sunflower at various leaf water potentials. Plant physiol. 46: 233-235.
- 12- Brevedan, E.R. and H.F. Hodges 1973. Effects of moisture deficits on ^{14}C translocation in corn (*Zea mays* L.). Plant Physiol 52: 436-439.

- 13- Anonymous, 1971. (G) Fertilizer application in intensive agriculture, p. 156. 3rd ed. DLO. Verlag, Frankfurt/1971.
- 14- Burgess, R. and H. Raper, eds. 1967. Soil Biology. Academic Press, London and New York.
- 15- Cleland, R.E. 1967. A dual role of turgor pressure in auxin-induced cell elongation in *Avena coleoptiles*. *Planta* 77: 182-191.
- 16- Drees, J. and E. Fajol 1973. Comparative effects of irrigation and nitrogen fertilizer on the qualitative and quantitative production of different maize cultivars. *Ann. agron.* 24: 359-373.
- 17- Dhindsa, R.S. and R.E. Cleland 1975. Water stress and protein synthesis. *Plant physiol.* 55: 778-781.
- 18- Dittmer, H.J. 1937. A quantitative study of the roots and root hairs of a winter rye plant (*Secale cereale*), *Amer. J. Bot.* 24: 417-420.
- 19- FAO. 1984. Fertilizer and plant nutrition guide. FAO, fertilizer and plant nutrition Bull. 9.
- 20- Fulton, J.M. 1967. Stomatal aperture and evapotranspiration from field grown potatoes. *Canad. J. Plant Sci.* 47: 109-111.
- 21- Gale, J. and R.M. Hagan 1966. Plant antitranspirants. *Ann. Rev. Plant physiol.* 17: 269-283.
- 22- Gilmore, C.A.A. and O.N. Allen, eds. 1965. Microbiology and soil fertility. Oregon State University Press, Corvallis.
- 23- Gorham, E. 1961 Factors influencing supply of major ions to inland waters, with special references to the atmosphere. *Geol. Soc. Am. Bull.* 72: 793-840.
- 24- Gray, T.R.G. 1967. Stereoscan electron microscopy of soil microorganisms. *Science* 155: 1668-1670.
- 25- Hall, N.S., W.F. Chandler, C.H.M. Van Bavel, P.H. Reid and J.H. Anderson (1953). A tracer technique to measure growth and activity of plant root systems. *North Carolina Agric. Expt. Sta. Tech. Bull.* 104: 1-40.
- 26- Hewitt, E.J. 1966. Sand and Water culture methods used in the study of plant nutrition. Revised 2nd ed. Commonwealth Bureau of Horticulture and plantation Crops East Malling. Tech. Communication No. 22.

- 27- Hoagland, D.R. and D.I. Arnon 1950. The water culture method for growing plants without soil. Calif. Expt. Sta. Circ. 347.
- 28- Holley, T. 1966. Freezing point depression. Osmotic Pressure, and Conductivity of plant Sap. In: E. Epstein, 1972. Mineral Nutrition of Plants; Principles and Perspectives. Wiley New York.
- 29- Hsiao, T.C. 1973. Plant response to water stress. Plant physiol. 24; 519-570.
- 30- Hsiao, T.C., E. Acevedo, E. Fereres and D.W. Henderson 1976. Water stress, growth and osmotic adjustment. Phil. Trans. Royal Soc. London 273: 479-500.
- 31- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative pedology. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York and London.
- 32- Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer and A.B. Carlton 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. Plant and soil 8: 337-353.
- 33- Marc, J. and J.H. Palmer 1976. Relationship between water potential and leaf inflorescence initiation in *Helianthus annuus*. Physiol. Plant. 36: 101-104.
- 34- McMichael, B.L., W.R. Jordan and R.D. Powell 1972. An Effect of water stress of ethylene production by intact cotton petioles. Plant Physiol. 49: 658-660.
- 35- Mitscherlich, E.A. and H. Beutelspacher 1938. Investigations into water consumption of some crops and the water economy of a natural soil profile. Bodenk. u. Pflanzenernähr. 9/10: 337-395.
- 36- Mizrahi, Y., A. Blumenfeld and A.E. Richmond 1970. Abscissic acid and transpiration in leaves in relation to osmotic root stress. Plant physiol. 46: 169-171.
- 37- Norman, A.G. 1961. The biological environment of roots. In: Growth in living Systems. M.X. Zarrov, ed. Basic Books, Inc., New York. P. 653-604.
- 38- Padarariu, A.C.T, Horovitz, R. Paltineanu and Negomireanu 1969. On the relationship between soil moisture and osmotic potential in maize and sugar beet plants. Plant. physiol. 22; 850-860.

- 39- Parkinson, D. 1967. Soil microorganisms and plant roots. In: Soil Biology. A. Burges and Raw, eds. Academic Press, London and New York. P. 449-478.
- 40- Reisenauer, H.M. 1966. Mineral nutrients in soil solution. In: Environmental Biology. P.L. Altman and D.S. Dittmer, eds. Federation of American Sciences for Experimental Biology. Bethesda. P. 507-508.
- 41- Reisenauer, H.M. 1969. A technique for growing plants at controlled levels of all nutrients. Soil Sci. 108; 350-353.
- 42- Roemer, T. and F. Scheffer 1959. Textbook of Agronomy, 5. ed., P. 149. Verlag P. Parey. Berlin and Hamburg.
- 43- Singh, T.N., L.G. Paleg and D. Aspinall 1973. Stress metabolism 111. Variations in response to water deficit in the barley plant. Austr. J. Biol. Sci 26; 65-76. 3
- 44- Slatyer, R.O. 1967. Plant-Water Relationships. Academic Press, London and New York. 3
- 45- Starkey, R.L. -1958. Interrelations between microorganisms and plant roots in the rhizosphere. Bact. Rev. 22; 154-172.
- 46- Stout, P.R. and R. Over-Street 1950. Soil chemistry in relation to inorganic nutrition of plants. Ann. Rev. Plant Physiol. 1: 305-342. 3
- 47- Trench, R.K., R.W. Greene and B.G. Bystrom 1969 Chloroplasts as functional organelles in animal tissues. J. Cell, Biol. 42: 404-417. 3
- 48- Waggoner, P.E. and I. Zelitch 1965. Transpiration and stomata of leaves. Science 150: 1413-1420. 3
- 49- Weaver, J.E. 1968. Prairie plants and their environment. University of Nebraska Press, Lincoln. 30
- 50- Weaver, J.E. and R.W. Darland 1949. Soil-root relationships of certain native grasses in various soil types. Ecol. Monographs. 19: 303-338. 31
- 51- Went, F.W. and N. Stark 1968b. Mycorrhiza. Bio-Science 18: 1035-1039. 38
- 52- Wiebe, H.H. and H.A. AL-Saadi 1976. Matric bound water of water tissue from succulents. Plant Physiol. 36; 47-51.
- 53- Williams, D.E. 1961. The absorption of potassium as influenced

by its concentration in the nutrient medium. *Plant and Soil* 15: 387-399.

المراجع

- 1- Boguslawski, F. Von and R. Schildbach 1969. Effect of sites. Years, fertilizer application and irrigation on quality and yield level of sugar beets. *Zucker* 22: 123-132.
- 2- Brevedan, E.R. and H.F. Hodges 1973. Effects of moisture deficits on ^{14}C translocation in corn (*Zea mays* L.). *Plant physiol.* 52: 436-439.
- 3- Bronner, H. 1974. Relation between the easily soluble nitrogen in soils and the development of beets. *landw. Forsch.* 30/11: Sonderh., 39-44.
- 4- Effmert, E. 1967, The effect of fertilizer application on the phosphate content of potato starch (I). Effect of fertilizer application on the ratio of amylose/amylopectin in potato starch. *Thaer Archiv.* II, 745-753, 755-759.
- 5- Evans. L.T. and H.M. Rawson 1970. Photosynthesis and respiration by the flag leaf and components of the ear during grain development in wheat. *Aust. J. Biol. Sci.* 23: 245-254.
- 6- Forster, H. 1973, Effect of the potassium and nitrogen supply to plants on yield components and yield formation of cereals. *Landw. Forsch.* 26: 221-227.
- 7- Forster, H. 1970: Effect of some interruptions in the nutrient supply on the development of yield and quality characteristics in sugar beets. *Landw. Forsch.* 25/11: Sonderh. 99-105.
- 8- Gorlitz, H. 1966. Effect of fertilizer application on properties of potato starch. In: *Mineral stoff versorgung von pflanze and Tier*, S. 93-100, *Tagungsberichte Nr. 85*, Dt. Akad. d. Landw. Wiss. Berlin.
- 9- Haeder, H.E. and K. Mengel 1972. Translocation and respiration of assimilates in tomato plants as influenced by K nutrition. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 131: 139-148.
- 10- Hehl, G. and K. Mengel 1972. The effect of varied applications of potassium and nitrogen on the carbohydrate content of several forage crops. *Landw. Forsch.* 27/11 : Souderh., 117-129.
- 11- Koch, K. and K. Mengel 1972. Effect of a varied potassium

- nutrition on the uptake and incorporation of Labelled nitrate by young tobacco plants (*Nicotiana tabacum* L.). *J.Sci. Fd Agric.* 23: 1107-1112.
- 12- Holliday, R. 1976. The efficiency of solar energy conversion by the whole crop. In: Duchman, A.N., J.G.W. Jones and E.H. Roberts: food Production and Consumption. P. 127-146. North Holland Publishing Company, Amsterdam, Oxford 1976.
 - 13- Khan, A.A. and C.R Sagar 1967. Translocation in tomato: The distribution of products of photosynthesis of the leaves of a tomato plant during the phase of food Production. *Hort. Res.* 7: 60-69.
 - 14- Kliewer, W.M. 1964 Influence of environment on metabolism of organic acids and carbohydrates in *Vitis vinifera*. I. Temperature. *Plant Physiol.* 39: 869-880.
 - 15- Koblet, W. 1969 Translocation of assimilates in grapes and the effect of the leaf area on the Yield and quality of grapes. *Die Weinwissenschaft* 24: 277-319.
 - 16- Krauss, A. and H. Marschner. 1971. Influence of the nitrogen nutrition of potatoes on tuber induction and tuber growth rate. *Z. pflanzenernähr. Bodenk.* 128: 153-168.
 - 17- Lachover, D.O. and I. Arnon 1966. Observations on the relationship between heavy potassium deficiency and poor quality of several agricultural Products of major crops . In: Potassium and the quality of agricultural products, p. 439-464. Proc. 8th Congr. Intern. Potash Institute, Berne.
 - 18- Mengel, K. and H.E. Haeder 1974. Photosynthesis and translocation of photosynthates during grain filling in wheat supplied with different K Levels. *Z. Acker u. Pflanzenbau* 140: 206-213.
 - 19- Mithorpe, F.L., and J. Moorby 1969. Vascular transport and its significance in plant growth. *Ann. Rev. Plant. physiol.* 20:117-138.
 - 20- Mulder, E.G. 1956. Effect of the mineral nutrition of potato plants on the biochemistry and the physiology of the tubers. *Neth. J. Agrib. Sci.* 4: 333-356.

- 21- Pätzold, C. and M. Dambroth 1964. Sensitivity to injury. *Der Kartoffelbau*. 15: 291-292.
- 22- Primost, E. 1968. (G) The influence of fertilizer application on the quality of wheat. *Landw. Forsch.* 22: Sonderh; 149-157.
- 23- Schäfer, P. and M. Siebold 1972. Influence of increasing potash application rates on yield and quality of the spring wheat "Kolibri" from a potash fixing Location. *Bayer. Landw. Jahrb.* 49: 19-39.
- 24- Schildbach, R. 1972. Relationships between fertilizer application to brewing barley and the beer quality. 2. *Acker-u. pflanzenbau* 136: 219-237.
- 25- Schmalfluss, K. 1963. *Plant Nutrition and soil Science*. 9th ed. P. 160. S-Hirzel-Verlag. Stuttgart.
- 26- Terman, G.J. 1950. Effect of rate and source of potash on yield and starch content of potatoes. *Maine Agric. Expt. Sta. Bull.* 581: 1-24.
- 27- Warren-Wilson, J. 1969. Maximum Yield potential. In: *Transition from Extensive to Intensive agriculture with Fertilizers*, P. 34-56. Proc. Vilth Collog. Intern. Potash Institute. Berne.
- 28- Watanabe, H. and S. Yoshida 1970. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on photophosphorylation in rice in relation to the photosynthetic rate of single Leaves. *Soil Sci. Plant N.* 16: 163-166.
- 29- Winner, C. 1968. Questions concerning the choice of cultivars and fertilizer application in relation to beet quality in modern sugar beet cultivation. *Zucker* 21: 521-530.

الفصل الخامس

- 1- Arnon, D.I. 1959. Phosphorus and the biochemistry of photosynthesis. *Agrochimica*. 3. 108-139.
- 2- Arnon, D., F. Whatley, and M. Allen 1954. Photosynthesis by isolated chloroplasts. II Photosynthetic phosphorylation, the conversion of light into phosphate bond energy. *Am. chem. Soc.* 76: 6324.
- 3- Barber, S.A. 1979. Growth requirements of nutrients in relation to demand at the root surface. In: *The Soil-Root. interface* (J.L.

- Harley and R. Scott Russell, eds.) P. 5-20. Academic Press London, New York. San Francisco 1979.
- 4- Bennet- Clark, T.A 1956. Salt accumulation and mode of action of auxin: a preliminary hypothesis. In. R.L. Wain and F. Wightman, eds. chemistry and mode of action of plant Growth Substances. London: Butterworth.
 - 5- Biddulph, O. 1941. Diurnal migration of injected radiophosphorus from bean leaves Am. J. Bot. 28: 348.
 - 6- Biddulph, O. 1959. Translocation of inorganic solutes. In: F.C. Steward, ed., Plant physiology. New York: Academic Press.
 - 7- Biddulph, O. et al 1958. Circulation patterns for P 32, S 35, and Ca 45 in the bean plant. Plant Physiol. 33: 293.
 - 8- Cheesman, J.M and J.B. Hanson 1979 Energy linked potassium influx as related to cell potential in corn cells. Plant. Physiol. 64:323-327.
 - 9- Conn, E.E and P.K. Stumpf 1967. Outline of Biochemistry. John Wiley Co. New York.
 - 10- Cram, W.J. 1973. Chloride fluxes in cells of the isolated root cortex of Zea mays. Aust. J. biol. Sci. 26: 757-779.
 - 11- Dainty, J. 1962. Ion transport and electrical potentials in plant cells. Ann. Rev. plant physiol. 13: 379-402.
 - 12- Davis, R.F. and N. Higinbotham 1976. Electrochemical gradients and K^+ and Cl^- fluxes in excised corn roots. Plant Physiol. 57: 129-136.
 - 13- Devlin, R.M., and F.H. Witham 1983. Plant Physiology. Boston: Willard Grant press.
 - 14- Epstein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. John Wiley and Sons, inc, New York, London, Sydney, Toronto.
Epstein, E. and J.E. Leggett 1957. Mineral metabolism. In. J. Bonner and J. E. Varner. 1965. Plant Biochemistry. Academic Press. New York.
 - 15- Epstein, E. 1966. Dual pattern of ion absorption by plant Cells and by plants. Nature. 212: 1324-1327.
 - 16- Epstein, E. and D.W. Rains 1965. Carrier mediated cation

- transport in barley roots. Kinetic evidence for a spectrum of active sites. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 53: 1320-1324
- 17- Epstein, E. 1956. Mineral nutrition of plants. mechanisms of uptake and transport. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 7:1
 - 18- Epstein, E. 1955. Passive permeation and active transport of ions in plant roots. *Plant. Physiol.* 30:529.
 - 19- Epstein, E. and C.E. Hagen 1952. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots *Plant Physiol.* 27: 457-474.
 - 20- Etherton, B. 1963. Relationship of cell transmembrane electropotential to potassium and sodium accumulation ratios in oat and pea seedlings *Plant Physiol.* 38: 581-585.
 - 21- Etherton, B. and N. Higinbotham 1961. Transmembrane potential measurements of cells of higher plants as related to salt uptake. *Science* 131: 409-410.
 - 22- Gerson, D.F. and R.J. Poole 1972. Chloride accumulation by mung bean root tips. A low affinity active transport system at the plasmalemma. *Plant Physiol.* 50: 603-607.
 - 23- Handley, R., and R. Overstreet 1955. Respiration and salt absorption by excised barley roots. *Plant Physiol.* 30:418.
 - 24- Higinbotham, N. 1973. Electropotentials of plant cells. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:25.
 - 25- Hoagland, D.R. 1948. Lectures on the inorganic nutrition of plants, P. 48-71. *Chronica Botanica Company Waltham, Mass. USA.*
 - 26- Hodges, T.K. 1973. Ion absorption by plant roots. *Advances in Agronomy* 25: 163-207.
 - 27- Hodges, T.K., R.T. Leonard, C.E. Bracker, and T.W. Keenan 1972. Purification of an ion stimulated adenosine triphosphate from plant roots: association with plasma membranes. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 29: 3307-3311.
 - 28- Hopkins, H.T. 1956. Absorption of ionic species of Orthophosphate by barley roots. Effects of 2,4 dinitrophenol and Oxygen tension *Plant Physiol.* 31: 155-161.
 - 29- Jacobson, J.A., L. Overstreet, R. King, and H.M. Handley 1950. A

- study of potassium absorption by barley roots. *Plant Physiol.* 25: 639-647.
- 30- Jenny, H. 1951. Contact phenomena between absorbents and their significance to plant nutrition. In E. Troog, ed. *Mineral Nutrition of Plants*. Madison: University of Wisconsin Press.
 - 31- Jenny, H. and K. Overstreet 1939. Cation interchange between plant roots and soil colloids. *Soil Sci.* 47:257.
 - 32- Jeschke, W.D. 1970. The influx of potassium ions into Leaves of *Elodia densa*, dependence on light, on the potassium concentration and on the temperature. *Planta* 91: 111-128.
 - 33- Kahn, J.S. and J.B. Hanson 1957. The effect of calcium on potassium accumulation in corn and soybean roots. *Plant Physiol.* 32: 312-316.
 - 34- Kirkby, E.A. 1969: Ion uptake and ionic balance in plants in relation to the form of nitrogen nutrition In: I.H. Rorison: *Ecological aspects of the Mineral Nutrition of Plants*, P. 215-235. British Ecological Society, Symposium No. 9.
 - 35- Leggett, J.E. and E. Epstein 1956. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. *Plant. Physiol.* 31: 222-226.
 - 36- Lundegordh, H. 1954. Anion Respiration. The experimental basis of the theory of absorption, transport and exudation of electrolytes by living cells and tissues. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 8: 262.
 - 37- Lundegordh, H. and Burstrom 1933. Untersuchungen über die Salzaufnahme der pflanzen. III. Quantitative Beziehungen zwischen Atmung and Anionenaufnahme. *Biochem. Z.* 261:235.
 - 38- Luttge, U. and G.G. Laties 1967. Selective inhibition of Absorption and long Distance Transport in Relation to the Dual Mechanisms of Ion Absorption in Maize Seedlings. *Plant Physiol.* 42: 181-185.
 - 39- Luttge, U. and G.G. Laties 1966. Dual Mechanisms of Ion Absorption in Relation to long Distance Transport in Plants. *Plant Physiol.* 41: 1531-1539.
 - 40- Marschner, H. and K. Mengel 1966. The effect of Ca and H ions at different metabolic conditions on the membrane permeability of young barley roots. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.* 112: 39-49.

- 41- Marschner, H., R. Handley, and R. Overstreet 1966. Potassium loss and changes in the fine structure of corn root tips plant Physiol. 41: 1725-1735.
- 24- Mason, T.G., E.J. Maskell, and E. Phillis 1936. Concerning the independence of solute movement in the phloem. Ann. Bot. 50: 23.
- 43- Mason, T.G., and E.J. Mashell 1931 Preliminary observations on the transport of phosphorus, potassium, and calcium. Ann. Bot. 45: 126.
- 44- Mengel, K. and M. Helal 1967. The effect of the exchangeable Ca^{2+} of young barley roots on the flux of K^{+} and phosphate-an interpretation of the Viets effect. Z. pflanzen physiol. 57: 223-234.
- 45- Mengel, K. and E.A. Kirkby 1982. Principles of plant nutrition. 3rd. Ed. Int. Potash institue Bern, Switzerland.
- 46- Michael, G. 1959. The selection potential of plants in mineral uptake. Dt. Akad. d. Landw. Wiss. VIII, Heft 4, Berlin.
- 47- Michael, G. and H. Marschner 1958. Phosphate exchange at root surface. Z. Bot. 46: 37-52.
- 48- Mitchell, P. 1978. Promotive chemiosmotic mechanisms in oxidative and photosynthetic Phosphorylation. Trends in Biochemical Sciences 3: N58-N61.
- 49- Mitchell, P. 1966. Chemiosotic coupling in oxidative and Photosynthetic phosphorylation. Biol. Rev. 41: 445-502.
- 50- Müller, P. and D.O. Rudin 1967. Development of K^{+} - Na^{+} distribution in experimental biomolecular lipid membranes by macrocyclic antibiotics, Biochem. Biophys. Res. Common. 26: 394-405.
- 51- Persson, L. 1969. Labile: Bound Sulfate in Wheat. Roots. In: E. Epstein 1972. Mineral Nutrition of Plants. Principles and perspectives. Wiley New York.
- 52- Pitman, M.G. 1965. Ion exchange and diffusion in roots of Hordeum vulgare. Aust. J. biol. Sci. 18: 541-546.
- 53- Poole, R.L. 1978: Energy coupling for membrane transport. Ann. Rev. Plant physiol. 29: 437-460.

- 54- Ratner, A. and B. Jacoby. 1976. Effect of K^+ , its counter anion, and pH on sodium efflux of barley root tips. J. Exp. Botany 27: 843-852.
- 55- Fischer, J.D., D. Hansen, and T.K. Hodges 1970. Correlation between ion fluxes and ion stimulated adenosine triphosphatase activity of plant roots. Plant physiol. 46: 812-814.
- 56- Robertson, R.N., M.J. Wilkins, and D.C. Weeks 1951. Studies in the metabolism of plant cells. IX. The effects of 2,4-dinitrophenol on salt accumulation and salt respiration. Australian J.Sci. Res. B₄: 248.
- 57- Russell, R.S. and D.A. Barber 1960. The relationship between salt uptake and the absorption of water by intact plants. Ann. Rev. Plant Physiol. N. 127.
- 58- Spanswick, R.M. and E.J. Williams 1964. Electrical potentials and Na, K and Cl concentrations in the vacuole and cytoplasm of Nitella translucens. J. Exp. Bot. 55: 193-200.
- 59- Staveninck, R.F.M. Van 1965. The significance of calcium on the apparent permeability of cell membrane and the effects of substitution with other divalent ions. physiol Plant. 18: 54-69.
- 60- Ulrich, A. 1941. Metabolism of non-volatile organic acids in excised barley roots as related to cation-anion balance during salt accumulation. Amer. J.Bet. 28: 523-537.
- 61- Viets, F.G. 1944. Calcium and other polyvalent cations as accelerates of ion accumulation by excised barley roots. Plant. Physiol. 19: 466-480.

الفصل السادس

- 1- Albrecht, W.A. 1970. plants protected by fertile soil. J. appl. Nutrition 22: 23-32.
- 2- Andreae, B. 1971. Rationalisierung des Braugerstenbaues durch Fruchtfolge - und Düngungsmaßnahmen Kali-Briefe, fachg. 15, 9. Folge: 1-3.
- 3- Anonym 1971. Hüttenkalk erhöht die Standfestigkeit des Getreides, ein Einfluss seiner Kieselsäure : und : Hüttenkalk gegen Lagergetreide und Mehltaubefall. Hüttenkalk-nitt. 38. Folge, 1-6 und Ref. Feldwirt-schaft 12:190.
- Antonova, G.G. 1975. Bewertung der Widerstands fähigkeit von Kohlsorten gegen Hernie anhand des Koeffizienten der

Borverteilung in den pflanzen Zap. Lenm. gradsk. Sel 'skochoz. 227 (1974): 16-21; Ref. Landw. Zentralbl. 2(1975): 11-324.

- 5- Antonova, G.G. 1971. Level of B, Cu, and Mn in the Leares and roots of white cabbage shoots as a function of the resistance of the variety clubroot. Zap. Leningrad Sel 'skochoz. Inst. 160: 42-48.
- 6- Atkinson, J.E., Jackson, R.O., Sharples and W.M. Ed. Waller 1980. Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths. London. Boston, Sydney, Durban, Toronto.
- 7- Bains, S.S., and J.S. Jhooty; 1978. Relationship between mineral nutrition of muskmelon and development of downy mildew caused by Pseudoperonospora cubensis. Plant and Soil 49:85-90.
- 8- Baule, H. 1975. Wie wirkt sich die Düngung auf die Widerstandskraft der Waldbäume aus? Forstpfl. forsts. 15: 2-12.
- 9- Baule, H. 1969. Zusammenhänge zwischen Nährstoffgehalten und Krankheiten bei Forstpflanzen. Landw. Forsch. 23: Sonderh., 92-104.
- 10- Borys, M.W. 1966. Einfluss der H_2PO_4 -Ernährung von Kartoffeln und die Resistenz ihrer Blätter gegen Phytophthora infestans. de By. Phytopath. Z. 57: 301-309.
- 11- Carr, A.J.H., and J.L. Stoddart 1963. The ameliorating effect of Zinc on symptoms of phyllody virus (strawberry green-petal) in white clover. Ann. appl. Biol. 51: 259-268.
- 12- Chaboussou, F. 1972. Die Rolle des Kaliums und des Kationen-gleichgewichtes für die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen gegen Krankheiten. Intern. Kali-Briefe. 23, 39, Folge: 1-10.
- 13- Combrink, N.J.J., K.P. Prinsloo, and A.C. Jandrell 1975. The effect of calcium, phosphate and boron on the keeping quality and quality determining tuber characteristics of potatoes. Agriplantae 7: 81-89.
- 14- Darwinkel, A. 1980a. Grain production of winter wheat in

relation to nitrogen and disease. I. Relationship between nitrogen dressing and yellow rust infection. Acker-u. pflanzenb. 149: 299-308.

- 15- Darwinkel, A. 1980b: Grain production. II. Relationship between nitrogen dressing and mildew infection. Acker-u. pflanzenb 149: 309-317.
- 16- Finck, A. 1970a. probleme der Nährstoffversorgung von Boden und pflanzen bei hohen Erträgen. Schriftenr. Landw. Fak. Univ. Kiel 47: 159-170.
- 17- Finck, A. 1970b .Beziehungen zwisch pflanzenernährung und Boden in der ariden und semiariden Zone. Proc. 9. Kongr. Intern. Kali Inst. Antibes, 201-209.
- 18- Fleischel, H. 1967. Phosphatdüngung, Ertrag und Qualität im Gemüsebau. Phosphorsäure 27: 88-100.
- 19- Fuchs, W.H., und F. Grossmann 1972 Ernährung und Resistenz von Kulturpflanzen gegenüber Krankheitserregern und Schädlingen. In: Handb. Pflanzenern u. Düngung Bd. 1 zweite Hälfte Durchführungsverordnung zum landeskulturgesetz Reinhaltung der Luft vom 17. 1. 1973. Gesetzbl. d. DDR: Teil 1. Nr. 18. 24. 4. 1973.
- 20- Gerath, H., und B. Pett 1971. Die Bedeutung der optimalen Borversorgung der kartoffeln für ihre Widerstandsfähigkeit gegen Krankheiten Saat. u. pflanzengut. 12: 134-135.
- 21- Graham, R.D. 1980a. susceptibility to powdery mildew of wheat plants deficient in copper. Plant and Soil 56: 181-185.
- 22- Grossmann, F. 1970. Einfluss der Ernährung der pflanzen auf den Befall durch Krankheitserreger und Schädlinge. Landw. Forsch. 25/ 1: Sonderh., 79-91.
- 23- Grover, R.K. 1967. Effect of some inorganic salts on wheat stem rust. Naturwissensch. 54: 350.
- 24- Herlihy, M., and P.J. Carroll 1969. Effects of N, P and their interactions on yield, tuber blight and quality of potatoes. J.Sci. Food and Agric. 20: 513-517.
- 25- Hernando, V., and M. Casado, M. 1975. Einfluss der Düngung auf die Resistenz der Erdbeersorte "Tioga" gegen die durch den

Pilz *Phytophthora fragariae* (Herzfäule) verursachte krankheit. Proc. 3. Europ. u. Medit. Budapest: 913: 919.

- 26- Ibenthal, W.D. 1982. lösliche Inhltsstoffe in der Epidermis von drei Gerstensorten unterschiedlicher Anfälligkeit Erysiphe graminis f. sp. hordei Kali-Briefe 16 : 215-221.
- 27- Jordan, C.W., C.E. Evans, and R.D. Rouse 1966. Coastal Bermudagrass response to applications of p and K as related to P and K levels in the soil. Proc. Soil. Sci. Soc. Amer. 30 : 477-480.
- 28- Judel, G.K., und P.W. Kurten 1962. Beeinflusst Bor Ertrag und Schorfbefall bei Kartoffeln? Kartoffelbau 13: 1-3.
- 29- Kaila, A., and P. Hänninen 1961: Response of winter rye to hyperphosphate and superphosphate. J.Sci. Agr. Soc. Finland 33, 39.
- 30- Katalymov, M.W. 1969. Mikronährstoffe-Mikronährstoffdüngung. VEB. Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin.
- 31- Kazuo Yamafuji 1964. Nutritional factors in virus formation. Crosby lockwood and Son Ltd. London.
- 32- Led, H.O. 1970c. Beeinflussung Gehalte an Hauptnährstoffen in in Möhrenpflanzen durch Virusbefall. Phytopath Z. 67 : 183-186.
- 33- Marschner, H. 1969. Mineralstoff wechsel. Forstschr. Botanik 31: 87-99.
- 34- Marx, D.H. 1972. Ectomycorrhiza as biological deterrents to pathogenic root infections. Ann. Rev. Phytopathol. 10: 429-454.
- 35- McGregor, A.J., and G.C.S. Wilson 1966. The effect of application of manganese sulphate to a neutral soil upon the yield of tubers and the incidence of common scab in potatoes. Plant and Soil 20 : 59-64.
- 36- Mechmanov, M. 1967. Einfluss von Zink und Molybdän auf die Widerstandsfähigkeit der Baumwollpflanze gegen die Verticillium-Welkekrankheit. Uzbek. Biology. Z. 47-50: Ref. : Pflanzenern. u. Bodenkde. 122 : 63.
- 37- Meyer, J.A. 1970. Bodengebundene Krankheiten und Dungerwirkung. Intern. Kali-Briefe, Fachg. 6, Folge 33: 26-27.
- 38- Millikan, D.F., and E.E. Pickett 1963. Biochemical patterns in leaf tissue from virusinfected and disease-free apple. II Some

- cation effects, *phytopath. Z.* 59: 89-91.
- 39- Mortvedt, J.J., K.C. Berger, and H.M. Darling 1963. Effect of manganese and copper on the growth of *Streptomyces scabies* and the incidence of potato scab. *Amer. Potato J.* 38: 96-102.
 - 40- Mudich, A. 1967. Einfluss der an Superphosphat gebundenen Spurenlemente auf die Widerstands fähigkeit der Kartoffelknollen gegen *phytophthora infestans*. *Acta. Phytopathol. Acad. Sci. Hung. Nr. 4* : 295-302 : *Ret: Landw. zentralbl.* (1971). 2:2-99/11.
 - 41- Munson, R.D. 1970. Das Gleichgewicht zwischen Stickstoff and Kalium-eino Kritische Beurteilung. *Intern. Kali-Briefe, Fachg.* 16,50. Folge : 1-25.
 - 42- Novikova, T.N. 1964. Eingluss der Mikroelemente auf die Entwicklung und Resistenz von Sommerweizen gegen Braunrost. *Trud. Charkovsk. erd. Trudov. Krasn. Znam. sel'skoch. Inst. i.V.V. Dokucaeva. kiev.* 43: 109-117.
 - 43- Olsen, R.V., and F.,E. Koehler 1968. Fertilizer use on small grain. In. *Changing patterns in fertilizer use. Publ. Soil. Sci. Soc. Amer. Inc. Madison, Wisc., USA:* 253-271.
 - 44- Perrenoud, S. 1977. Potassium and plant health. *Publ. Int. Potash. In st. Bern. Schweiz.*
 - 45- Poljakov, P.V. 1970. Krankheits resistenz und Mikroelemente *Zavctina rastenij* 15 :52.
 - 46- Primavesi, A. 1973. Correct use of Fertilizers in the humid tropics and subtropics and its effect on I. Plant resistance to diseases. II Crop production. *Servaria pont. ,Acad. Sci. 38* : 139-177.
 - 47- Primavasi, A. 1969. Irrweg und Ausweg. *Z. angew. Ökologie Nr.* 56: 1-4.
 - 48- Quelhas Dos Santos, J. 1979. Das Kalium und der Virus der Blattrollkrankheit der Kartoffelstande. *Intern. Kali-Briefe, Fachg.* 23, 50. Folg: 1-4.
 - 49- Rahimi, A. 1972. Kupfermangelsymptome und ihre Entwicklung bei höheren pflanzen. *Inang. Diss. Techn. Univ. Berlin.*
 - 50- Rajarantam, J.A., and L.I. Hock 1975. Effect of boron nutrition

- on intensity of red spider mite attack on oil plant seedlings. *Exptl. Agric.* 11 : 59-63.
- 51- Ranga Reddy, P., and R. Siddhar, 1975. Influence of potassium nutrition and bacterial blight disease on phenol, soluble carbohydrates and amino acid content in rice leaves. *Acta Phytopath. Acad. Sci. Hung.* 10 : 55-62.
 - 52- Roorda. Van Eysing, J.F. 1966. Mineral fertilization, Yield and quality of vegetables. Intern. Kali-Symp., Brussel, Belgien. 216-233.
 - 53- Schänfele, W.R. 1978. Phytosanitäre Effekte bei der Mineraldüngung von Zuckerrüben. Intern. Kali Briefe, Fachg. 23, 56, Folge: 1-5.
 - 54- Scheffer, K., und H. Huntemüller 1974. Der Einfluss einer Düngung mit Mikronährstoffen and den Befall von Sommeryerste mit Mehltau (*Erysiphe graminis*). *Landw. Forsch.* 3011: Sonderh., 177-179.
 - 55- Scholl, W., und H. Gehlker 1973. Boden-und Standortuntersuchungen zur Klärung der Ursache der Wurzelsfäule des Spargels. *Landw. Forsch.* 28/ 1: sonderh., 40-45.
 - 56- Schütte, K.H. 1967. The influence of boron and copper deficiency upon infection by *Erysiphe graminis* D.C., the powdery mildew in wheat var.Kenya. *Plant and Soil* 37: 450-452.
 - 57- Schutte K.H. 1946. The biology of the trace elements: their role in nutrition. Crosby lockwood & Soud ltd. London.
 - 58- Shear, C.B. 1975. Calcium nutrition and quality in fruit crops. *Comm. Soil Sci. and Plant Analysis* 6: 233-244.
 - 59- Talibudeen, O., M.B., und J.D.D Mitchell 1977. Wechselwirkungen zwischen der Stickstoff-und Kaliernahrung auf die Ertrage an Trockensubstanz und Stickstoff der Graminee Englisches Rayras (*Lolium perenne*). Intern. Kali-Briefe, Fachg. 7, 22. Folge: 1-7.
 - 60- Thiagalingam, K. 1977. Beziehungen zwischen der Ernährung mit Mineralstoffen und Krankheiten von einigen Kulturpflanzen in Malaysia. Intern. Kali-Briefe, Fachg. 23, 52, Folge: 1-5.

- 61- Trollenier, G. 1967. Einfluss der Mineralstoffernährung auf die Krankheitsresistenz unserer Getreidearten. Kali-Briefe. Fachg. 11.3 Folge, 1-40.
- 62- Tsyplenkov, A.E. 1974. The role of minor elements in diminishing the susceptibility of tomatoes to tobacco mosaic virus. Ref: Boron in Agriculture 106-12.
- 63- Tsyplenkov, A.E., and L. Fomin 1974. Bekämpfung von Viruskkrankheiten der Tomaten mit spurenelementen. Züsctina rastenji. Moskva 18: 21-22.
- 64- Voisin, A. 1959. Boden und Pflanze. BLV Verlagsgesellschaft. München.
- 65- Wallace, A. 1962. A decade of synthetic chelating agents in inorganic plant nutrition. Publ. A. Wallace, Los Angeles, Calif. USA.
- 66- Wenzel, G. 1970a. Zusammenhänge zwischen Ernährungszustand und Rotfaulbefall der Fichte (Picea abies Karst.) Landw. Forsch: 25/I. Sonderh., 92-95.
- 67- Wenzel, G. 1970b. Beziehungen zwischen dem Ernährungszustand der Fichte (Picea abies Karst.) und dem Pilzhemmstoffgehalt ihres Bastes. Pflanzenern. u. Bodenkde. 127: 56-63.
- 68- Yaroshenko, T.V. 1967. Effect of trace elements on some biochemical processes in rye in relation to its resistance to stem smut. Mikroelem. Sel. Khoz. Med. Nr. 3: 57-63: Ref: Boron in Agriculture 94 (Okt. 1969): 16.
- 69- Zajonc, Ingrid 1971. Grundlagen u. Auswertung des Problemorientierten Alaufplanes für eine schlagbezogene Mangan-Düngungsempfehlung mittels EDVA im Rahmen des Teilmodells Mikronährstoffdüngung. Inaug. Diss. Sektion Meliorationsw. und pflanzenprod. Univ. Rostock.
- 70- Zajonc, Ingrid, W. Borchmann, und H. Gerath 1975 Über den Einfluss einer Mangan-Düngung auf die Ertrags- und Qualitätsbildung von winterraps (Brassica napus L. ssp. oleifera). Arch. Ackerb. Pflanzenb. u. Bodenkde. 19: 771-780.

الفصل السابع

- 1- Arnon, D.I. 1950. Functional aspects of copper in plants, P. 89-114, in Copper metabolism, The Johns Hopkins Press, Baltimore.

- 2- Arnon, D.I. and G. Wessel 1953, Vanadium as an essential element for green plants. *Nature* 172: 1039-1040.
- 3- Ayres, A.S. 1966, Calcium silicate slag as a growth stimulate for sugarcane on Low-silicon soils. *Soil Sci.* 101: 216-227.
- 4- Barrow, N.J. 1970. Comparison of the adsorption of molybdate, sulfate and phosphate by soils. *Soil Sci.* 109: 282-288.
- 5- Beevers, L. 1976, Nitrogen Metabolism in plants. Edward Arnold. London.
- 6- Berger, K.C. 1965, Introductory Soils. New York, Macmillan Co.
- 7- Bergmann, W., P. Bruchlos, H. Falke, et.al. 1978. Zum gegenwärtigen Stand der Düngung mit Mikronährstoffen und ihrer Ertragswirksamkeit in der DDR. *Arch. Acker-u. Pflanzenb. u. Bodenkde.* 22: 309-316.
- 8- Bertrand, D. 1942. Vanadium as an essential trace element for Aspergillus niger. *Ann. Inst. Pasteur.* 68: 226-244.
- 9- Bishop, N.J. 1966, Partial reactions of photosynthesis and photoreduction. *Ann. Rev. Physiol.* 17: 185-208.
- 10- Boardman, N.K. 1975. Trace elements in photosynthesis, P. 199-212. In: Trace elements in Soil-Plant-Animal System. Nicholas, ED., EGAN D.J.D. and EGAN A.R. Academic Press.
- 11- Brag, H. 1972. The influence of potassium on the transpiration rate and stomatal opening in *Triticum aestivum* and *Pisum sativum*. *Physiol. Plant.* 26: 250-257.
- 12- Brewer, R.F. 1966. Lead, P213-217. In H.D. Chapman: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences.
- 13- Broyer, T.C. 1966. Chlorine nutrition of tomato: observations on inadvertent accretion and loss and their implications. *Physiol. plant.* 19: 925-936.
- 14- Broyer, T.C. and P.R. Stout 1959. The macronutrient elements. *Ann. Rev. plant Physiol.* 10: 277-300.
- 15- Broyer, T.C., A.B. Carlton, C.M. Johnson and P.R. Stout 1954. A micronutrient element for higher plants. *Plant Physiol.* 29: 526-532.
- 16- Casper, H. 1975. Nitrate availability as a function of soil water content. Model experiments with young maize plants. Diss.

Fachbereich 19 Ernährungswissenschaften. Justus Liebig Universität Giessen.

- 17- Chenery, M. 1955. A preliminary study of aluminium and the tea bush. *Plant and Soil* 6: 174-200
- 18- Cheng, B.T. and G.J. Oullette 1973: Molybdenum as a plant nutrient. *Soil and Fertilizers* 36, 207-215.
- 19- Connell, W.E. and W.H. Patrick 1969. Reduction of sulfate to sulfide in waterlogged soil. *Proc. Soil Sci. Amer.* 33: 711-715.
- 20- Day, J.P., H. Hart and M.S. Robinson 1975. Lead in urban street dust. *Nature* 253: 343-345.
- 21- Delwiche, C.C. 1970. The Biosphere. *Scientific Amer.*, P. 71-80, Inc. W.H. Freeman, San Francisco.
- 22- Dixon, N.E., C. Gazzola, R.L. Blakeley and B. Zerner 1975. Jack bean ureas (Ec 3.5. 1.5) a metalloenzyme. A simple biological role for nickel? *J. Am. Chem. Soc.* 97: 4131-4132.
- 23- Evans, H.J. and R.A. Wildes 1971. Potassium and its role in enzyme activation, p. 13-39. In: *Potassium in Biochemistry and Physiology*, Proc. 8th Colloqu. Potash Institute, Berne.
- 24- Fischer, R.A. and T.C. Hsiao 1968. Stomatal Opening in isolated epidermal strips of *Vicia faba* II. Responses to KCL concentration and the role of potassium absorption. *Plant Physiol.* 43: 1933-1938.
- 25- Fowden, L. 1967. Aspects of amino acid metabolism in plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 18: 85-106.
- 26- Ganje, T.J. 1966. Selenium, P. 394-404. In H.D. Chapman: *Diagnostic Criteria for plants and Soils*. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences.
- 27- Ganssmann, W. 1962. Investigations into the influence of silicic acid on the uptake of phosphoric acid and other nutrients. *Die Phosphorsäure* 22: 223-241.
- 28- Hall, D.O., R. Cammack and K.K. Rao 1971: Role for ferredoxins in the origin of life and biological evolution. *Nature* 233: 136-138.
- 29- Halvorson, A.D. and Lindsay, W.L. 1977. The critical Zn^{2+} concentration for corn and the nonabsorption of chelated zinc. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 41: 531-534.

- 30- Hopkins, D.P. 1954. Vanadium as an essential element. *World Crops*. 6-8.
- 31- Hossner, L.R., J.A. Freeout and B.L. Folsom 1973. Solution phosphorus concentration and growth of rice (*Oryza sativa* L.) in flooded soils. *Proc. Soil Soc. Amer.* 37: 405-408.
- 32- Joham, H.J. 1953. Accumulation and distribution of molybdenum in the cotton plant. *Plant physiol.* 28: 275-280.
- 33- Johnson, C.M. 1966. Molybdenum, P. 286-301. In: *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*, ed. Chapman.
- 34- Johnson, C.M., P.R. Stout, T.C. Broyer and A.B. Carlton 1957. Comparative chlorine requirement of different plant species. *Plant and Soil* 8: 337-353.
- 35- Jones, L.H. P. and K.A. Handreck 1965. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by the plant. *Plant and Soil* 23: 79-96.
- 36- Judel, G.K. and W. Stelte 1972. Gefäßversuche mit Gemüse Pflanzen zur Frage der Bleiaufnahme aus dem Boden. *Pflanzenernähr. u. Bodenkde.* 110: 421-429.
- 37- Kirby, E.A. and K. Mengel 1976. The role of magnesium in plant nutrition. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk. H.* 2: 209-222.
- 38- Krauskopf, K.B. 1972. Geochemistry of Micronutrients. In: *Micronutrients in Agriculture*, P. 7-40. Soil Sci. Soc. of America, Madison USA.
- 39- Larsen, S. and A.E. Widdowson 1968. Chemical composition of soil solution. *J. Sci. Fd. Agric.* 19: 693-695.
- 40- Lehninger, A.L. 1975. *Biochemistry, the Molecular Basis of Cell Structure and Function*. Worth Publishers, Inc. New York.
- 41- Marschner, H. und A. Schropp 1977. Vergleichende Untersuchungen über die Empfindlichkeit von 6 Unterlagensorten der Weinrebe gegenüber Phosphatinduziertem Zink-Mangel. *Vitis* 16: 79-88.
- 42- Martin, J.P. 1966, Bromide, P. 62-64. In: H.D. Chapman; *Diagnostic Criteria for Plants and Soils*. Univ. of California, Div. of Agric. Sciences.
- 43- Massumi, A. 1967, Investigations into the molybdenum status of

plants and soils in Schleswig Holstein. Diss. der Landw. Fakultät d. Univ. Kiel.

- 44- Mengel, K. and R. Pflüger 1969, The influence of several salts and several inhibitors on the root Pressure of *Zea mays*. *Physiol. Plant.* 22: 840-849.
- 45- Murphy, L.S. and L.M. Walsh 1972, Correction of micronutrient deficiencies with fertilizer. In: *Micronutrients in Agriculture*, P. 347-387.
- 46- Nielson, F.H. 1971, Studies on the essentially of nickel, P. 215-255. In: W. Mertz and W.E. Cornatzer: *Newer Trace Elements in Nutrition*.
- 47- Nowakowski, T.Z. 1971, Effects of potassium and sodium on the contents of soluble carbohydrates and nitrogenous compounds in grass. P. 45-49. In: *Potassium in Biochemistry and physiology*. 8th Colloq. Intern. Potash Institute, Berne.
- 48- Okuda, A. and E. Takahashi 1965, The role of silicon, P. 123-146. In: *The mineral Nutrition of the Rice Plant*, Proc. Symp. Intern. Rice Res. Inst., John Hopkins Press, Baltimore USA.
- 49- Ozolina, G. and L. Lapina 1965, Effect of copper and nitrogen nutrition of maize and flax on dynamics of nucleic acids. *Microelem. Proc. Rast.* 75-102.
- 50- Pflüger, R. and K. Mengel 1972, The photochemical activity of chloroplasts obtained from plants with different potassium nutrition. *plant and Soil* 36: 417-425.
- 51- Pissarek, H.P. 1973, The development of potassium deficiency symptoms in spring rape. *Z. Pflanzenerähr. Bodenk.* 136: 1-96.
- 52- Possingham, J.V. 1956, Mineral nutrition and amino acids in tomato. *Aust. J. Biol. Sci.* 9: 539-551.
- 53- Rahimi, A. und W. Bussler 1975, Der Einfluss unterschiedlicher Zn-Gaben auf die Entwicklung von Mais. *Landw. Forsch.* 31/1 Sonderh.
- 54- Ralkov, L. 1971. Reclamation of solonchets soil in Bulgaria, P. 35-47. In: I. Szabolcs: *European Solonchets soils and their reclamation*. Akademiai Kiado, Budapest.
- 55- Reisenauer, H.M., L.M. Walsh and R.G. Hoeft 1973. *Testing soils*

- for sulfur, boron, molybdenum and chlorine, P. 173-200. In: L.M. Walsh and J.D. Beaton: Soil Testing and plant analysis. Soil Sci. Soc. of America Inc., Madison Wisconsin.
- 56- Russel, E.W. 1973. Soil conditions and plant Growth. 10th Edition, Longman.
- 57- Scharrer, K. and K. Mengel 1960, On the transient occurrence of visible magnesium deficiency in oats. *Agrochimica* 4: 3-24.
- 58- Scheffer, F. and P. Schachtschabel 1976. Textbook of Soil Science. 9th ed. F. Enke-Verlag, Stuttgart.
- 59- Schmitt, L. 1965. Die Spurennährstoffe in der moderner Düngerlehre. J.D. Sauerländer. Frankfurt-Main.
- 60- Schütte, K.H. 1964. The biology of the trace elements; their role in nutrition. Crosby Lockwood & Son Ltd., London.
- 61- Scott, N.M. and G. Anderson 1976. Organic sulphur fractions in scottish soils. *J. Sci. Fd. Agric.* 27: 358-366.
- 62- Shrift, A. 1969. Aspects of selenium metabolism in higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 20: 475-494.
- 63- Sims, J.R. and F.T. Bingham 1968. Retention of Boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: II. Sesuioxides. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32: 364-369.
- 64- Sippolia, J., R. Ervio and R. Eleveld 1973. The effects of simultaneous addition of ammonium and Potassium on their fixation in some Finnish soils. *Ann. Agriculturae Fenniae* 12: 185-189.
- 65- Smith, T.A. and Sinclair 1967. The effect of acid feeding on amine formation in barley. *Ann. Bot.* 31: 103-111.
- 66- Subba Rao, N.S. 1974. Prospects of bacterial fertilization in Iadia. *Fertil. News* 19: 32-36.
- 67- Swaine, D.J. 1955: The trace element content of soil. *Soil Sci. Tech. Comm. No. 48*. Herald Printing works, coney St., York. England.
- 68- Sywortkin, G.S. 1958. The boron content of plants with a latex system. *Spurenelemente in der landwirtschaft*, 283-288, Academic-Verlag Berlin.
- 69- Tanaka, A. and S. Yoshida 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *IRRI Techn. Bull.* 10.

- 70- Terman, G.L. and soil nitrogen by rye grass, as affected by carbonaceous residues. Proc. Soil Soc. Amer. 32: 86-90.
- 71- Terry, N. 1977: Photosynthesis growth and the role of chloride. Plant Physiol, 60: 69-75.
- 73- Vallee, B.L. and W.E.C. Wacker 1970. Metalloprotein: In: H. Neurath (ed.). The Proteins (2nd ed.), Vol. 5, Academic press, New York, P. 192.
- 74- Viro, M. 1973. The effect of a varied nutrition with potassium on the translocation of assimilates and minerals in *Lycopersicon esculentum*. Diss. Fachberich 1 g Ernährungswissenschaften, Justus- Liebig Universita Gissen.
- 72- Ulrich, A. and K. Ohki 1956. Chlorine, bromine and sodium as nutrients for sugar beet plants. Plant Physiol. 31: 171-181.
- 75- Walker, T.W., A.F. R. Adams and H. D. Orchison 1955. The effects and interactions of molybdenum lime and phosphate treatments on the yield and composition of white clover grown on acid, molybdenum responsive soils. Plant and Soil 6: 201-220
- 76- Williams, E. G. 1959. Influences of parent material and drainage conditions on soil phosphorus relationships. Agrochimica 3: 279 .
- 77- Williams, E. G. 1970. Factors affecting the availability of soil phosphate and efficiency of phosphate fertilizers. Anglo-Soviet symposium on Agrochemical Research on the Use of Mineral Fertilizers. Moscow.
- 78- Yoshida, S., Y. Ohnishi and K. Kitagishi 1962. Chemical forms, mobility and deposition of silicon in rice plant. Soil Sci. Plant Ntr. 8: 1521.

الفصل الثامن

- 1- Cerling, V.V. 1971a. Pflanzendiagnose und biologische Qualität des Ertrages. Agrochimija 5 : 135-148.
- 2- Cerling, V.V. 1971b. The diagnostics of plant nutrition. Proc. Intern. Symp. of Soil Fertility Evaluation, New Delhi. Nol. I:211-217.
- 3- Kühn, H. 1972. Das Erkennen von Nährstoffmangelerscheinungen. In: Handb. der. Pflanzenern. u. Düngung, Bd. I, Zweite Hälfte, Springer, Wien, New York. P. 992-1006.
- 4- Salm-Horstmar, Furst Zu .1849. Versuche über die notwendigen

Aschenbestandteilen einiger Pflanzen Spezies. Journ. Frankl. Chem. 46: 193-211.

الفصل التاسع

- 1- Abel, G.H. 1969 . Inheritance of the capacity for chloride inclusion and chloride exclusion by soybeans. Crop Sci. 9: 697-698.
- 2- Beadle, G.W. 1929. Yellow stripe-a factor for chlorophyll deficiency located in the prpr chromosome. Am Naturalist 63: 189-192.
- 3- Bell, W.D., L.Bogorad and W.J. Mc Ilrath. 1958. Response of the yellow-stripe mutant (ys_1) to ferrous and ferric iron. Bot. Gaz. 120: 36-39.
- 4- Bell, W.D., L.Bogorad and W.J.Mc Ilrath. 1962. Yellow-stripe phenotype in maize. I. Effects of ys_1 locus on uptake and utilization of iron. Bot. Gaz. 124: 1-8.
- 5- Bernard, R.L. and R.W. Howell. 1964. Inheritance of phosphorus sensitivity in soybeans. Crop Sci. 4: 298-299.
- 6- Brown, J.C., R.S. Holmes and L.O. Tiffin. 1958. Iron chlorosis in soybeans as related to the genotype of rootstalk. Soil Sci. 86: 75-82.
- 7- Martin, W.E., and Berry, L.J. 1970. Use of nitrogenous fertilizers on california rangeland. Proc. XI Internat. Grasslands Congress. P. 817-822.
- 8- Pope, D.T. and H.M. Munger. 1953a. Heredity and nutrition in relation to magnesium deficiency Chlorosis in celery. Proc. Am. Soc. Hort. Sci. 61: 472-480.
- 9- Pope, D.T. and H.M. Munger. 1953b. The inheritance of susceptibility to boron deficiency in celery. Proc. An. Soc. Hort. Sci. 61: 481-486.
- 10- Rodim, L.E., and Bazilevich, N.I. 1967. Production and Mineral Cycling in Terrestrial Vegetation. Oliver and Boyd. London.
- 11- Rorison, I.H. ed. 1969. Ecological Aspects of the Mineral Nutrition of plants. A. symposium of the British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- 12- Shea, P.F., W.H. Gabelman and G.C. Gerloff. 1967. The

- inheritance of efficiency in potassium utilization in snap beans, (*Phaseolus vulgaris* L.) *proc. Am. Soc. Hort. Sci.* 91: 286-293
- 13- Shea, P.F., G.C. Gerloff and W.H. Gabelman. 1968. Differing efficiencies of potassium utilization in strains of snap beans, *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and soil.* 28: 337-346.
- 14- Snaydon, R.W. 1962: Micro-distribution of *Trifolium repens* L. and its relation to soil factors. *J. Ecol.* 50: 133-143.
- 15- Wall, J.R. and C.F. Andrus. 1962. The inheritance and physiology of boron response in the tomato. *Am. J.Bot.* 49: 758-762.
- 16- Warner, R.L., R.H. Hageman, J.W. Dudley, and R.J. Lambert. 1969. Inheritance of nitrate reductase activity in *zea mays* L. *proc. Nat. Acad. Sci.* 62: 785-792.
- 17- Weiss, M.G. 1943. Inheritance and physiology of efficiency in iron utilization in soybeans. *Genetics* 28: 253-268.

المراجع العامة General References

أولاً - المراجع العربية

- 1 - الرئيس ، عبد الهادي . تغذية النبات الجزء الثاني . بغداد العراق
- 2 - النعيمي ، سعد الله نجم . 1984 . مبادئ تغذية النبات كتاب مترجم للمؤلفين مينكل وكيري مطبعة جامعة الموصل - العراق
- 3 - بلبع عبد المنعم 1973 . خصوبة الاراضي والتسميد دار المطبوعات الجديدة . الاسكندرية . جمهورية مصر العربية
- 4 - كاظم عبد العظيم محمد 1977 . مبادئ تغذية النبات .

ثانياً : المراجع الاجنبية

- 1- Bergmann, W. 1983. Ernährungsstorungen bei Kultur-pflanzen. VEB Gustav Fischer Verlag Jena DDR. Black, C.A. 1967. Soil-plant Relationships, second edition. John Wiley and Sons, Inc. New York-London Sedney.
- 2- Bowen, H.H.M. 1966. Trace elements in Biochemistry. New York, Academic Press.
- 3- Epstein, E. 1972: Mineral nutrition of plants, principles and perspectives. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- 4- Hodgson, J.F. 1963: Chemistry of micronutrient elements in soil. Advan. Agron. J. Res. Agr. Soc., 124, 75-86.
- 5- Mengel, K. 1968: Ernährung und Stoffwechsel der pflanze. Dritte Auflage. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- 6- Mengel, K. 1972: Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Vierte Auflage. Custav Fischer Verlag. Stuttgart.
- 7- Mengel, K. and E.A. Kirbky 1982: Principles of Plant Nutrition. 3rd edition. International Potash Institute Bern, Switzerland.
- 8- Schnitzer, M. and Kahn, S.U. 1978: Soil organic matter, developments in soil science 8, Elsevier scientific publishing company. Amsterdam, Oxford, New York.
- 9- Schutte, K.H. 1964: The Biology of Trace Elements: Their Role in Nutrition, lockwood, C., London.
- 10- Swaine, D. 1955: Trace Element content of soil; Commonwealth Bur. Soil Sci, No. 48, England.

- 11- Tisdale, S. and W. Nelson 1975: Soil Fertility and Fertilizers. 3rd edition. Collier Macmillan Int. editions.
- 12- Wallace, T. 1957: Trace Elements in Plant Nutrition. J. Roy. Soc. of Arts, 105.

